الفرْن العالى



الأسس التكنولوجية

الأسس التكنولوجية
يشرف عليها
دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

الفرن العالى

دكتور مهندس عبد الرءوف رضوان

مقدمة

تزخر المكتبات بالعديد من الكتب التى تتعرض لموضوع تخصصىّ واحد ، ولكن من مجموعة زوايا تختلف وهدف المؤلف . ورغم النهضة التى نلمسها على المستوى العالمى فى التأليف والترجمة ، إلا أن عدد الكتب والمراجع التى تتناول دقائق الفرن العالى ، لا تزال تُعَدُّ على الأصابع ، وخاصة تلك التى تربط بين الجوانب النظرية ، والجوانب العملية والتطبيقية لهذا الموضوع ، وهذه الأخيرة تتطلب خبرة طويلة ، وممارسة فعلية ، فى تشغيل الفرن العالى .

ومع تقدم وتطور الصناعة فى الوطن العربى ، أصبحت الحاجة ماسة إلى تزويد المكتبة العربية بالكتب المتخصصة . ومن هنا اتجه التفكير إلى تصنيف هذا الكتاب ، وقد روعيت فى كتابته وتصنيفه سهولة اللفظ ، وبساطة السرد ، والبعد عن التعقيد ، حتى يتيسر الالمام بما ورد به من معلومات ، تُمَكِّن المهندسين ، والفنيين العاملين بالأفران العالية ، من الإحاطة بتكنولوجيا الأفران العالية ، وفى الوقت نفسه ، تتيح للمهندسين ، والفنيين بصفة عامة ، الإطلاع على تفاصيل هذا الموضوع الهام ، بوصفه المرحلة الأولى من مراحل صناعة الحديد والصلب ، وهى الصناعة الثقيلة التى تمثل القاعدة الأساسية المكينة لتصنيع الوطن العربى .

ونرجو أن نكون قد وفقنا فيما هدفنا إليه ، والله ولى التوفيق .

عبد الرؤوف رضوان

الباب الأول

الخامات المستخدمة بالفرن العالى

ينتج الفرن العالى ، الحديد الزهر الخام ، باستخدام العديد من الخامات والمواد الأولية . وهذه تكون فى مجموعها ما يسمى « بشحنة الفرن العالى » ، التى تحظى عالمياً باهتمام كبير عند تجهيزها أو إعدادها ، وتخضع لقواعد خاصة فى تحديد المواصفات الكيميائية والفيزيقية الخاصة بكل مكون من مكوناتها ، لما لذلك من أثر فعال على تكلفة الإنتاج .

وتتكون شحنة الفرن من خامات الحديد ، وبعض الإضافات من مخلفات المصانع التى تحوى المعدن ، والمصهرات ، والكوك .

وفى هذا الباب ، نتعرض بصورة سريعة لمصادر ، وخواص ، وطرق تجهيز مكونات الشحنة هذه ، بهدف التوضيح المبسط ، دون الدخول فى التفصيلات الدقيقة .

خام الحديد بالعالم :

بدأ العالم فى استغلال خام الحديد منذ أمد بعيد ، ونظراً للبدائية التى كان يعالج بها الخام للحصول على المعدن منه ، فإن الخامات التى استغلت ، شكلت غالبية الخامات الجيدة بالعالم ، ومع تناقص النوع الجيد من الخام ، اضطر المشتغلون بتلك الصناعة ، إلى البحث لإيجاد الوسائل والطرق التى يمكن بها معالجة الخامات الأقل جودة ، مما كان له الأثر الفعال فى التقدم التكنولوجى لعمليات تجهيز الخامات ، وتحسين أداء المعدات التى تستخدم فى هذا المجال . كما اضطر الجيولوجيون ورجال التعدين ، للعمل دون توان ، لتعويض التناقص المطرد للخامات . فاستخدمت أحدث الوسائل للكتشف والاستغلال . وقد نجم عن ذلك اكتشاف مناطق شاسعة من الخامات الفقيرة التى لم تستغل حتى الآن ، وإن كانت تشكل أهمية كبرى كرصيد للخام فى الأجيال القادمة ، حين ينضب معين المصادر الحالية .

وتهدف الأبحاث الحالية التى تجرى على مستوى عالمى ، إلى إيجاد أحسن الطرق وأكثرها ملاءمة لمعالجة هذه الخامات . وهذا يمثل فى الواقع الأسلوب المنطقى الذى يجب أن يسير عليه العالم ، إذا استمر التوسع المطرد فى الصناعات الحديدية ، وإذا لم تكتشف مواد أخرى لتحل محل الصلب فى بعض استخداماته .

وقد استنفد العالم منذ عام ١٨٠٠ وحتى الآن ، ما يقرب من ١١ بليون طن من خام الحديد ، لإنتاج كميات الحديد التي أنتجها خلال هذه الفترة . وإذا كانت كميات الخام الحقيقية بالعالم غير معروفة بالضبط حتى الآن ، فليس مرجع ذلك إلى أن الأعمال الجيولوجية لم تستكمل على النطاق العالمي كله ، بقدر ما يرجع إلى أن معايير القياس تختلف من بلد لآخر ، حتى إنه أصبح من الصعب الآن ، تحديد نسبة الحديد في الخام التي تصلح أساس للمقارنة عالمي . وعلاوة على ذلك ، فلقد اختلفت الطرق في تحديد الخام المؤكد والخام المحتمل ، وعليه أصبح من الممكن أن الخام الذي يعد « محتملا » في إحدى دول العالم ، قد يكون « مؤكدا » تبعا للمقاييس المتبعة في بلد آخر ، وهكذا .

مناطق وجود خام الحديد بالدول العربية

أثبتت أعمال المسح الجيولوجي ، أن ثلثي كمية الخام المعروف بالقارة الأفريقية ، توجد في شمالها بمناطق ساحل البحر المتوسط ، وفي اتحاد جنوب أفريقيا . ومن أهم مصادر الخامات لتي بدأ استغلالها ، تلك الموجودة في موريتانيا ، حيث يوجد الخام الأوليتي في شمالها ، ويبلغ الخام المؤكد بها حوالي ١٥٠ مليون طن ، ويستغل حالياً للتصدير .

أما في الجزائر ، فيوجد الخام الهيماتيتي الذي تتنافس للحصول عليه دول أوربا لاستخدامه في صناعة صلب بسمر ، غير أن كمية الخام الباقية لا تجعل هذا المصدر أهم مصادر الخام بالقارة الأفريقية ، وتقدر كمية الخام المؤكد بالجزائر بحوالي ١٥٠ مليون طن .

ويستغل جزء منه في صناعة الحديد والصلب بالجزائر حالياً .

أما في تونس ، فتوجد خامات السيدريت والماجنتيت ، وتحوى تقريباً ٥٤٪ من وزنها حديد ، بالإضافة إلى نسبة عالية من المنجنيز ، ويستخدم جزء من هذا الخام حالياً في صناعة الحديد والصلب بتونس ، إلا أن معظم الكمية المستخرجة في المناجم ، تصدر للدول الأوروبية ، وخاصة ألمانيا .

وفي ليبيا ، يوجد الهيماتيت الذي يحوى نسبة عالية من السيليكا . ويقدر الخام المؤكد بحوالي ٣٩٠ مليون طن ، ولم يبدأ استغلاله بعد .

وفي جمهورية مصر العربية ، يوجد خام الحديد الهيماتيتي الفوسفوري بأسوان ، والذي

تتراوح نسبة الحديد فيه ما بين ٤٢ و ٤٦٪ ، ويستخدم حاليا فى صناعة صلب توماس . كما يوجد خام الحديد الليمونيق الهياتيق بمنطقة الواحات البحرية ، ويحوى نسبة أعلى من الحديد ، من ٥٢ إلى ٥٥٪ ، وكذا نسبا أقل من السيليكا والفوسفور ، غير أنه يحوى كلوريد الصوديوم وأكسيد المنجنيز بنسبة عالية ، مما يستلزم معالجة الخام قبل استغلاله . أما المصدر الثالث فى جمهورية مصر العربية ، فهو خام الماجنتيت الهياتيق الموجود بوادى كريم غرب القصير ، وهو خام يحوى ٤٤٪ حديد ، غير أنه صلب للغاية ، وتحتاج عمليات استخراجه إلى معالجة خاصة ، بطبيعة تكوينه . فخام وادى كريم أقل الخامات المصرية قابلية للاختزال . وتقدر كميات الخام المؤكد فى جمهورية مصر العربية ، بحوالى ٢٨٠ مليون طن .

ويوجد فى المغرب حجر الحديد الأحمر الذى يحوى ٥٠٪ من الحديد ، ويقدر الاحتياطى المؤكد بحوالى ٧٠ مليون طن ، ويستغل الخام حالياً للتصدير .

ولقد تم اكتشاف كميات من خام الحديد بكل من السودان ، والمملكة العربية السعودية ، وهى حالياً قيد التقييم .

الخواص الفيزيقية والكيميائية لخامات الحديد

نظرا لطبيعة عمليات الفرن العالى ، وللعديد من التغيرات والمؤثرات التى تتعرض لها المشحونات خلال هبوطها بالفرن ، فن اللازم أن تتوافر للخامات المكونة للشحنة عامة ، ولخامات الحديد خاصة ، خواص فيزيقية وكيميائية معينة ، تتلاءم مع متطلبات التشغيل ، وتقاس هذه الخواص عادة بمؤشرات نلخصها فيما يلى :

(ا) الخواص الفيزيقية :

١ ـ **الصلابة :** يتضح أثر هذه الخاصية فى مرحلتى الاستخراج والصهر ، فالخامات الهشة الضعيفة ، وهى التى لا تحتاج عادة عند استخراجها بالمناجم إلى عمليات نسف مكثفة ، وتجمع مباشرة باستخدام الحفارات ، تكون نسبة الفاقد فيها ، خلال عمليات التنجيم ، أكبر بكثير عن الخامات الأكثر صلابة ، مما يرفع تكلفة إنتاج الوحدة منها . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن هذه الخامات تتفتت بسهولة عند شحنها بالفرن ، مخلفة كميات من الأحجام الصغيرة ،

تعترض مسار الغازات الصاعدة ، وتؤثر على سلامة التشغيل ، وينتج ذلك التفتت ، بسبب عدم قدرة هذه الخامات على تحمل الضغوط العالية ، الناجمة عن شحنات الخامات التي تعلوها .

أما الخامات الصلبة ، فتحتاج عادة إلى عمليات نسف بالمناجم ، ثم عمليات تكسير وطحن للحصول على الأحجام المناسبة للاستغلال ، مما يزيد من تكلفة إنتاجها وسعرها . هذا بالإضافة إلى تسببها في تفتت باقي مكونات شحنة الفرن ، والأقل منها صلابة ، خلال هبوط الشحنة بالفرن ، واحتكاك هذه المكونات بعضها ببعض .

٢ ـ **المسامية** : وهي تحدد نسبة الفجوات أو الفراغات في داخل وحدة الخام الحجمية . وتنقسم هذه الفراغات إلى نوعين ، المفتوحة منها ، والمصمتة . وتقاس المسامية بطرق مختلفة ، تحدد نسبة حجم النوع الأول منها فقط ، إلى حجم القطعة تحت الاختبار . والفراغات المفتوحة تمثل الطريق الفعلي الذي تسلكه الغازات المختزلة إلى ملامسة أسطح الخام ، وبدء التفاعل معه . أما الفجوات المصمتة ، والتي لا يمكن قياسها ، فتتفتح مع تقدم عملية الاختزال وفي أثنائها ، لتساعد في إتمام المراحل النهائية لها .

وعليه ، تعتبر المسامية مؤشراً بالغ الأهمية في تقييم الخامات ومقارنتها بعضها مع بعض ، فكلما زادت نسبتها ، كلما ارتفعت قيمة الخام ومكانته ، ويعد ذلك سببا من أسباب تفضيل خامات الهياتيت والليمونيت على خامات الجنتيت .

والفراغات التي تحويها الخامات ، تتفاوت في أحجامها من جزء من الميكرون إلى جزء من المليمتر ، ولهذا فهي ضئيلة جدا . إلا أن خروج المواد المتطايرة الموجودة بالخامات ، نتيجة ارتفاع درجة حرارة الخامات عند مرورها بالمناطق العليا بالفرن ، يُزيد من حجم هذه الفراغات ، ويولد مسارات تسمح بمرور الغازات بعدئذ وبسهولة .

٣ ـ **تحمل الضغوط** : تتعرض الخامات المشحونة بالفرن العالي ـ كما سبق الذكر ـ إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيقية خلال مراحل هبوطها . وحيث أن كل طبقة من الشحنات ، تحمل الطبقات التي تعلوها ، فمن المحتم أن تكون لهذه الخامات خاصية تحمل الضغوط عند درجات الحرارة العالية ، مع الحفاظ على شكلها الخارجي ، وخاصة خلال مراحل الاختزال الأولى . لذلك تعتبر هذه الخاصية هامة . وتختبر قدرة الخامات على تحمل

الضغوط . بتسخين قطعة من الخام لها شكل هندسى محدد ، ثم يقاس مدى تأثر أبعادها بضغط معين ، عند ارتفاع درجة حرارتها ، ويقارن الناتج الذى يتم الحصول عليه بنتائج نمطية . ويبلغ ضغط الاختبار حوالى ٢ ضغط جوى ، وهو قيمة الضغط السائد تحت ظروف التشغيل بالفرن .

(ب) ـ الخواص الكيميائية :

يندر أن يوجد الخام فى الطبيعة بحالة نقية ، بل يحوى عادة مكونات أخرى تسمى الشوائب ، وهى التى تحدد نوعية الخام . فيذكر أن الخام حامضى ، أو قاعدى ، حسب زيادة نسبة المكونات الحامضية أو القاعدية فيه ، ويقال إن الخام متعادل ، إذا تقاربت أو تساوت هذه المكونات .

وتوجد الشوائب فى صورة مركبات كيميائية ، مع مكونات مواد أخرى أهمها الأوكسيجين والكربون ، ونسب أقل من الفوسفور والمنجنيز والكبريت ، ، بالإضافة إلى المواد الطينية ، والمكونات الأرضية ، مثل السيليكا والجير والألومينا وأكسيد المنجنيز . وقد تكون هذه الشوائب مرغوباً فيها أحياناً تحت ظروف معينة ، غير أنه عادة لا يستحب وجودها .

كذلك يوجد مع الخام ، بكميات أقل ، معادن الكروم ، والنيكل ، والفاناديوم ، والزنك والنحاس ، الخ . وتظهر أهمية الدور الذى تلعبه هذه المجموعة من المرافقات ، فى تأثيرها المباشر على جودة المنتج بعد عمليات الصهر ، وكذلك فى تحديدها لطريقة معالجة هذا المعدن فى مراحل تحويله إلى صلب .

وعموما يمكن تقسيم هذه الشوائب إلى قسمين :

١ ـ شوائب يمكن التخلص منها بنسب عالية أو كلية ، وتدخل فى مكونات الخبث الذى يصاحب عملية الصهر الأولية ، مثل السيليكا ، وأكسيد المنجنيز ، واالألومينا ، والجير ، الخ .

٢ ـ شوائب يكون التخلص منها نسبياً ، ولا يمكن اقتصادياً التخلص منها نهائيا ، وهى الشوائب القابلة للذوبان فى الحديد فى درجة حرارة إنتاجية ، مثل الكبريت ، والكربون ، والمنجنيز ، والفوسفور ، والكروم ، والفاناديوم ، والسيليكون الناتج عن اختزال جزء من السيليكا ، الخ .

ويعتبر الكبريت ونسبته بالخام ، من أهم مؤشرات تقييم الخامات وتحديد جودتها ، نظراً لتأثيره الضار على خواص الصلب الناتج ، حيث ينجم عن وجوده أن يكون المعدن هشاً فى درجات الحرارة العالية ، الأمر الذى يسبب حدوث تشققات بالمعدن عند طرقه ، أو عند معالجته حرارياً . ولهذا ، فن العسير استخدام الخامات التى تحوى أكثر من ٠,١٪ من الكبريت ، وهو الأمر الذى يسبب الابتعاد عن استغلال مناطق كبيرة من خام بيريت الحديد (ح كب) .

وهذا السبب نفسه ، يدفع جميع العاملين فى صناعة الحديد والصلب ، إلى تحاشى استخدام الكوك العالى النسبة من الكبريت . ومن مسببات عدم الرغبة فى الكبريت كذلك صعوبة التخلص منه ، وارتفاع النفقات اللازمة لذلك .

أما الفوسفور ، والذى يمكن التخلص منه ، فوجوده بالمعدن غير مرغوب فيه عادة ، لأنه يقلل تحمل المعدن للإجهادات أو للتحميل (الضغط) . لكن وجود الفوسفور بالمعدن محبب فى عمليات السباكة ، لمساعدته على احتفاظ المعدن بدرجة عالية من السيولة والانسيابية . وتستخدم الخامات التى تحوى الفوسفور بنسبة تصل حتى ١,٥٪ ، فى صناعة الصلب القاعدى أو صلب توماس .

من ذلك يتضح أن نسبة الفوسفور ، تحدد طريقة تنقية الحديد الخام الذى يحتويه . وعليه فالخامات التى تحوى نسباً أقل من اللازم لإنتاج صلب توماس ، وأعلى من المطلوب لإنتاج الصلب بالطريقة الحامضية ، تشكل فى الواقع عبئا على عمليات التنقية ، وبذلك تقلل من قيمة الخامات عند تقييمه .

أما العناصر الأخرى كالمنجنيز ، والكروم ، والفاناديوم ، والنيكل ، والكوبالت ، وغيرها ، فهى عناصر مرغوب فيها ، بشرط وجودها بنسب محددة ، ذلك لأنها تساعد على تحسين خواص المعدن ، وخاصة المنجنيز الذى يساعد على التخلص من الكبريت ، غير أن زيادتها عن النسب المحددة ، يشكل مصاعب فى تشغيل خاماتها .

ويرجع الاهتمام بالشوائب الأخرى التى تصاحب الخامات ، وتكون فى إجمالها الخبث الذى ينتج فى عمليات الصهر ، إلى تأثيرها المباشر على نوعية الحديد الزهر المنتج فى مرحلة الصهر الأولى ، وذلك أن جزءاً من السيليكا الموجود بالشحنة ، يمكن اختزاله تحت ظروف

الصهر هذه ، ويكون السيليكون الناتج جزءا من شوائب المعدن المنتج . وحتى يمكن التحكم فى هذه النسبة ، يلجأ العاملون فى صناعة الحديد والصلب إلى « معادلة الخبث » ، بمعنى الوصول إلى تحليل تتساوى فيه مكونات الخبث الحامضية ، وهى السيليكا والألومينا ، مع المكونات القاعدية ، وهى الجير والماغنيسيا . ومع ذلك يراعى وجود زيادة طفيفة للشق القاعدى ، حتى يمكن التخلص من جزء من الكبريت الحامضى ، والحصول على جزء من المنجنيز القاعدى فى المعدن .

ولما كانت عملية تكوين الخبث وإسالته تستهلك كميات كبيرة من الوقود ، فمن الواضح أنه كلما قلت كمية الخبث المنتجة ، وبالتالى كمية الشوائب المكونة أصلاً هذا الخبث ، كلما تحسنت اقتصاديات الإنتاج ، ويسهل التحكم فى جودة المعدن المنتج .

تركز الحديث فيما سبق عن آثار الشوائب على جودة المعدن المنتج ، إلا أن هناك شوائب أخرى توجد بالخامات ، لها تأثير لايقل أهمية ، على العمليات التكنولوجية ، مثل الرصاص ، والتيتانيوم ، والزنك ، أولها تأثير على المعدات والبطانات الحرارية للأفران مثل القلوبات . وطبيعى أن وجود أى منها بأى خام ، يقلل من قيمته ، وقد يسبب عدم استخدامه نهائيا .

يتضح مما سبق ، أنه عند تقييم خامات الحديد ، فليست نسبة المعدن فيه ـ رغم أهميتها ـ هى التى تلعب الدور الأساسى ، ولكن الخواص الفيزيقية للخامات ، ونسب مكونات الخبث بها ، ونسب العناصر الأخرى السابق ذكرها ، هى التى لها الأهمية الأولى . ولذلك فقد يحدث أن تستورد بعض دول العالم ، التى تمتلك خامات الحديد الجيدة ، أنواعاً من الخامات الأقل جودة ، لعمل خلطات للأفران العالية ، تحقق أهدافاً اقتصادية وفنية ، وتضمن إنتاجاً من الحديد الزهر أفضل جودة ، وأقل تكلفة . ومن الطبيعى أن يحدث عكس ذلك أيضاً ، بمعنى استيراد بعض الدول للخامات الجيدة التى لاتتوافر بها ، لتحقيق نفس الأهداف الاقتصادية فى التشغيل .

تجهيز خامات الحديد

نتيجة للتطور التكنولوجي لوسائل الإنتاج ، ونتيجة للدراسات العلمية الميدانية عن عناصر التكلفة الإنتاجية ، ثم تحليل هذه النتائج ، ونتيجة للتعاون بين خبراء الصناعة والاقتصاد ، أصبح من الحقائق الثابتة ، أن كل العمليات التجهيزية التى تجرى مقدماً على خامات تشغيل الوحدات الميتالورجية ، تعود بالفائدة على المراحل التالية فى خط الإنتاج ، بحيث أصبح العائد يغطى مصروفات مراحل التجهيز ، ويحقق ربحاً إضافياً .

وتهدف عمليات التجهيز عادة إلى تحقيق مايلى :

(١) تحسين الخواص الفيزيقية والميكانيكية للخامات ، مع الاستفادة من المخلفات التى تحوى المعدن ، والناتجة من مختلف عمليات الإنتاج أو التصنيع ، وذلك للحصول على التجانس والحجم المناسب اللازمين لشحن الفرن العالى .

(٢) تحسين الخواص الكيميائية ، ورفع نسبة المعدن فى خاماته ، وإزالة أكبر نسبة من مكونات الخبث والعناصر غير المرغوب فيها .

(١) إعداد الخام لتحسين خواصه الفيزيقية والميكانيكية

تتلخص مراحل هذا الإعداد فيا يلى :

أولا : عمليات التجنيس .

ثانيا : عمليات التكسير .

ثالثا : عمليات الطحن .

رابعا : عمليات تجميع النواعم .

وفيا يلى نقدم شرحا مبسطا لكل منها .

أولا : عمليات التجنيس :

يقصد بعمليات التجنيس ، كل عمليات مزج وخلط للخامات المختلفة ، بغرض الإقلال من التفاوت فى خواصها الفيزيقية والكيميائية . وبهذا المفهوم البسيط ، نلحظ أن هذه العملية تتكرر مع تعدد مراحل معالجة الخامات ، فتتم فى أحواش خامات التصدير بالمناجم ، وفى خلال عمليات نقل الخامات من المناجم إلى الكسارات ثم إلى المصانع ، وكما تجرى خلال عمليات التكسير والتشوين بالمناجم أو بالمصانع . وتعتبر عملية التجنيس ، التى تتم

فى أحواش تشوين الخامات بالمصانع ، اهم هذه جميعها ، حيث تؤدى طبقا لنظام محدد ودقيق ، وفيما يلى شرح موجز لهذه العملية :

بوصول الخامات إلى المصانع ، غالبا فى عربات السكك الحديدية ، يبدأ تفريغ هذه العربات بواسطة مكنة خاصة ، لتشون فى بناكر ملحقة ، ينقل الخام منها بواسطة السيور إلى عربة التجنيس . تتحرك هذه على قضبان حديدية ذهابا وعودة ، من أحد طرفى حوش التشوين إلى الطرف الآخر ، كما تتحرك أذرعها الجانبية إلى مسافات عرضية مختلفة عمودية على مسار العربة ، وهى فى حركتها هذه تنشر الخامات فى طبقات يعلو بعضها بعضا وتملأ حيز التشوين فى الحوش ، فى شكل هرمى متناسق . فإذا سحب الخام ـ المشون بهذه الكيفية ـ فى طبقات بمساحة مقطع التشوين العمودى على طول الكوم ، أمكن الحصول على خام متكامل التجنيس ، وأقرب مايكون إلى تمثيل شحنة التشوين كيميائيا وفيزيقيا . ويتم سحب الخام باستخدام عربة خاصة تسمى عربة سحب الخام المجنس . والتى يتحرك ذراعها الشبكى حركة دورانية مترددة ، ملامسا لسطح الخام بمساحة مقطعه العمودى على طوله ، فيتجمع الخام على سير معدنى ، ينقل منه إلى سيور الوحدات التالية ، أى إما إلى صوامع الأفران فى حالة استخدام هذه الأفران للخام مباشرة ، وإما إلى كسارات التلبيد إذا كانت الأفران تستخدم اللبيد . وفى الحالة الثانية تتكرر عملية التجنيس مع توالى مراجع التكسير والطحن والتشوين والتجهيز فى أسطوانات الخلط . وعموما يفضل العاملون بصناعة الحديد والصلب إجراء عمليات التجنيس للخامات المستخدمة كلما سمحت الظروف التكنولوجية بذلك .

ثانياً : عمليات التكسير :

وهذه أولى عمليات تجرى على الخام بعد استخراجه بصفة عامة . ذلك أن أحجام الخام الناتج ، تكون فى العادة كبيرة لاتناسب عمليات الصهر ، وعليه تجرى عملية التكسير هذه بهدف الوصول إلى الحجم الملائم ، هذا إذا كانت الخامات المتعامل معها متناسقة التركيب ، أو غنية بالمعدن ، أما إذا كانت هذه الخامات تحوى شوائب ضارة ، أو غير متجانسة ، فيتم تكسيرها بهدف آخر ، هو إعدادها لعمليات التركيز والتجهيز التالية .

وعموما ، سواء كان الهدف هذا أو ذاك ، فمن المحتم تكسير الخام الناتج من المناجم .
وتجرى العملية على مرحلتين :
(١) التكسير المبدئى أو الأولى .
(٢) التكسير النهائى .

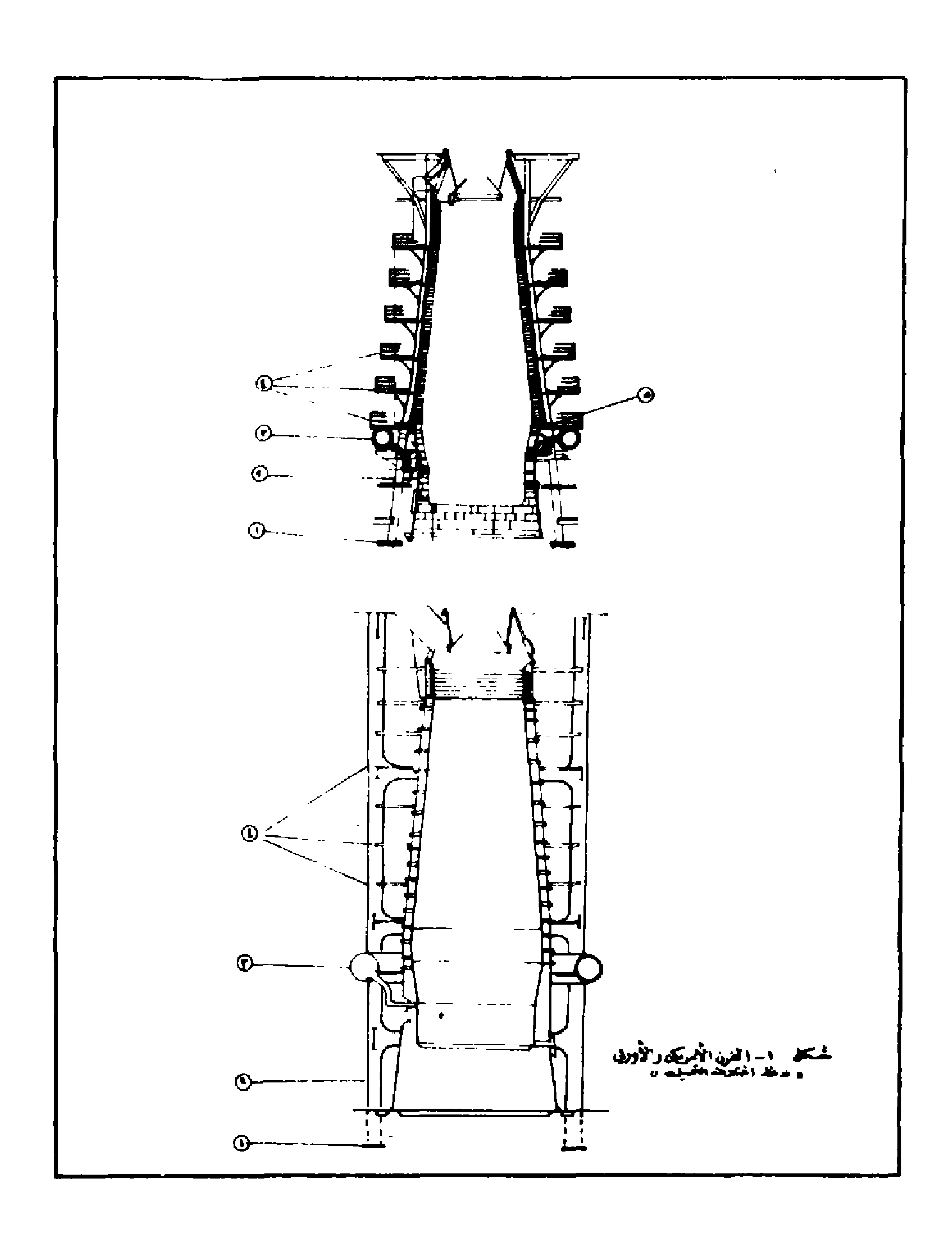
وهذا التقسيم تستوجبه عوامل تكنولوجية واقتصادية عديدة ، منها استحالة الحصول على الأحجام المناسبة من الخام ، سواء لعمليات الصهر ، أو لعمليات التركيز من المناجم مباشرة ، وإلا كان ذلك سببا فى زيادة تكاليف الاستخراج ، بسبب مايستتبعه من فقد للخام الناعم الناتج ، وزيادة فى نفقات النقل والتشوين . ومن الناحية التكنولوجية ، يتيح هذا التقسيم ، فرصة أمثل للهيمنة على مواصفات المنتج ، وتتبعها مرحلة بمرحلة ، كما يوفر مرونة ودقة فى تصميم وتشغيل وصيانة المعدات المستخدمة ، ذلك أن هذه المعدات تصبح فى هذه الحالة « معدات مرحلية » ، أى أجهزة لإجراء مرحلة معينة ، تتعامل فيها مع مواصفات محددة للخام ، ولتنتج منتجاً محدد المواصفات أيضا .

وفيما يلى نتعرض بالشرح لكل مرحلة على حدة .

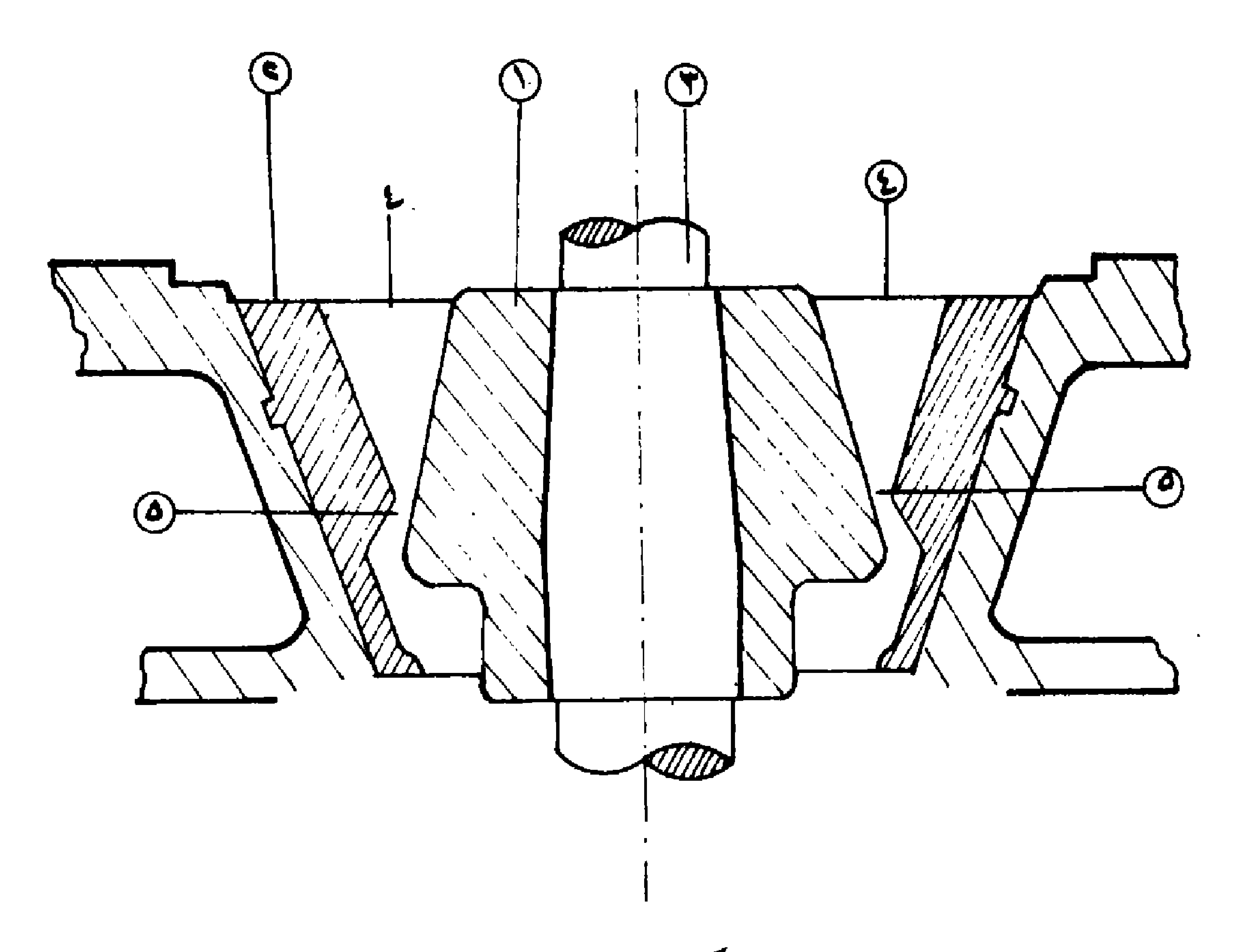
(١) التكسير المبدئى ، وأهم المعدات المستخدمة فيه :

ترد الخامات عادة من مناجمها ، فى أحجام غير متناقسة ، تتراوح مقاييسها مابين ١٠ و ١٥٠ سم . وتفرغ هذه الخامات على شبك يعلو صوامع التخزين ، ويسمح بمرور أحجام معينة منها ، تمثل فى العادة أكبر مايمكن لمعدات التكسير استقباله . أما الأحجام الأكبر عن المسموح به ، فتحتجز حيث يتم تكسيرها يدويا أو باستخدام المفرقعات . وتسحب الخامات المشونة فى صوامع التشوين ، بعد ذلك ، عن طريق سيور ناقلة إلى صوامع أخرى ، تعلو طواحين التكسير وتغذيها بها ، حسب احتياجاتها ، وقدراتها الإنتاجية . وأهم أنواع الكسارات التى تستخدم فى هذه المرحلة هى :

(أ) الكسارات الفكية .
(ب) الكسارات المخروطية .
(ج) الكسارات الأسطوانية .



شكل ١ - الفرن الأمريكي والأوربي



شكل ٢-١ الكسارة المخروطية

(ا) الكسارات الفكية (الشكل ١) :

وهى تستقبل الخامات فى مكان مخروطى الشكل ، بين فكى الطحن الثابت والمتحرك . والفك الثابت مثبت فى جسم الكسارة ويكون جزءاً منه . أما الفك المتحرك ، فيعمل كجزء مستقل تشده إليها مجموعة من الشدادات والبايات القوية ، وتحدد بالتالى مقاس فتحة الكسارة ، وبالتالى تحدد مقاس حجم الخام المنتج ، وتتولد حركة هذا الفك عن كامة (لامركزية) تحركها حدافات أو موتورات كهربائية ، وبذلك تتسع المسافة بين الفكين أو تقل ، حسب حركة الكامة ، وموضع الفك المتحرك ، وينشأ عن ذلك تكسير قطع الخام نتيجة الضغط المسلط عليها إلى أحجام أقل ، عندما تصغر المسافة بينها . ثم يرفع ذلك الضغط بزيادة بعد الفكين عن بعضهما بعضا ، ليسمح للأحجام الصغيرة الناتجة بالهبوط إلى أسفل ، واستقبال الجديد من الخام من أعلى المخروط ، وعليه يتضح أن تكسر الخام بهذه الكيفية ، يحدث نتيجة ضغط الفك المتحرك من ناحية ، ونتيجة ضغط قطع الخام بعضها بعضا ، نتيجة تناقص الحيز الذى تشغله عند تقارب الفكين من ناحية أخرى .

(ب) الكسارات المخروطية (الشكل ٢) :

وهى تشبه فى أدائها الكسارات الفكية ، حيث ينتج عن حركة المخروط غير المركزية ، ضيق الحيز المخروطى بينه وبين الفك الدائرى الثابت ، (الشكل ٢) .

ويستعمل النوعان المذكوران فى حالة الخامات الصلبة ، أو الخامات التى لاتتفتت بسهولة ، حيث أن عملية تكسير الخامات بالاحتكاك فيما بينها ، تخلف كميات كبيرة من النواعم ، والتالى فهى لاتصلح مع الخامات اللزجة ، وهى الخامات التى تعالج بنوع آخر من الكسارات هى الكسارات الأسطوانية .

(ج) الكسارات الأسطوانية :

وتتكون من أسطوانتين تدوران فى اتجاهين متضادين حول محوريها ، وتثبت كل منهما إلى مكانها بشداد يحفظ المسافة بين الأسطوانتين بالقدر المطلوب ، ويعمل كصمام أمان عند معالجة قطع الخام الصلبة ، حيث يقلل من تآكل سطح الأسطوانة . ويحدث التكسير نتيجة سحب الخام إلى حيز ضيق ، خلال الحركة الدورانية للأسطوانتين ، فيضغطه الخام بعضه بعضا ، وتضغط سطوح الأسطوانتين على الجزء الملامس لها ويتم التكسير . وحيث أن ضغط الخام بعضه بعضا أقل منه فى حالات النوعين السابقين ، فإن كمية الخامات الناعمة ،

المتولدة فى هذه الحالة، تصبح أقل منها عن حالة سابقيتها.

وفى مجال المقارنة بين النوعين الأولين، يتضح أن الكسارات الفكية، تتميز بسهولة صيانتها، وبقدرتها على التعامل مع الأحجام الكبيرة حتى ١٩٠ سم، بينما تتميز الكسارات اللامركزية بانتاجها الكبير. وعليه، فإذا كان الإنتاج المطلوب كبيرا، تستخدم الطواحين الفكية للتعامل مع الأحجام الكبيرة التى تنفصل على مناخل الكسارات اللامركزية، ثم يرسل ناتج التكسير ـ كبير الحجم نسبيا ـ إلى الكسارات اللامركزية، ليعاد تكسيره للحجم المطلوب.

٢ ـ التكسير النهائى:

تتولد عن عمليات التكسير الابتدائى، وخاصة فى حالة معالجة الخامات الصلبة الصعبة التكسير، أحجام قد تزيد على ٥ إلى ٨ سم، وهذه الأحجام وإن كانت تصلح لعمليات الصهر فى حالة الخامات الغنية، إلا أنها لاتصلح فى حالة الخامات الفقيرة، التى تحتاج إلى المزيد من عمليات التجهيز، ذلك أن عمليات التجهيز هذه، تستهدف الوصول إلى أمثل حجم يمكن من التخلص من الشوائب، وخاصة مركبات الخبث، بأقل تكاليف وبأفضل النتائج. وعليه فكلا الحالتين تحتم إعادة تكسير ناتج التكسير المبدئى، وهذا مايسمى بالتكسير النهائى.

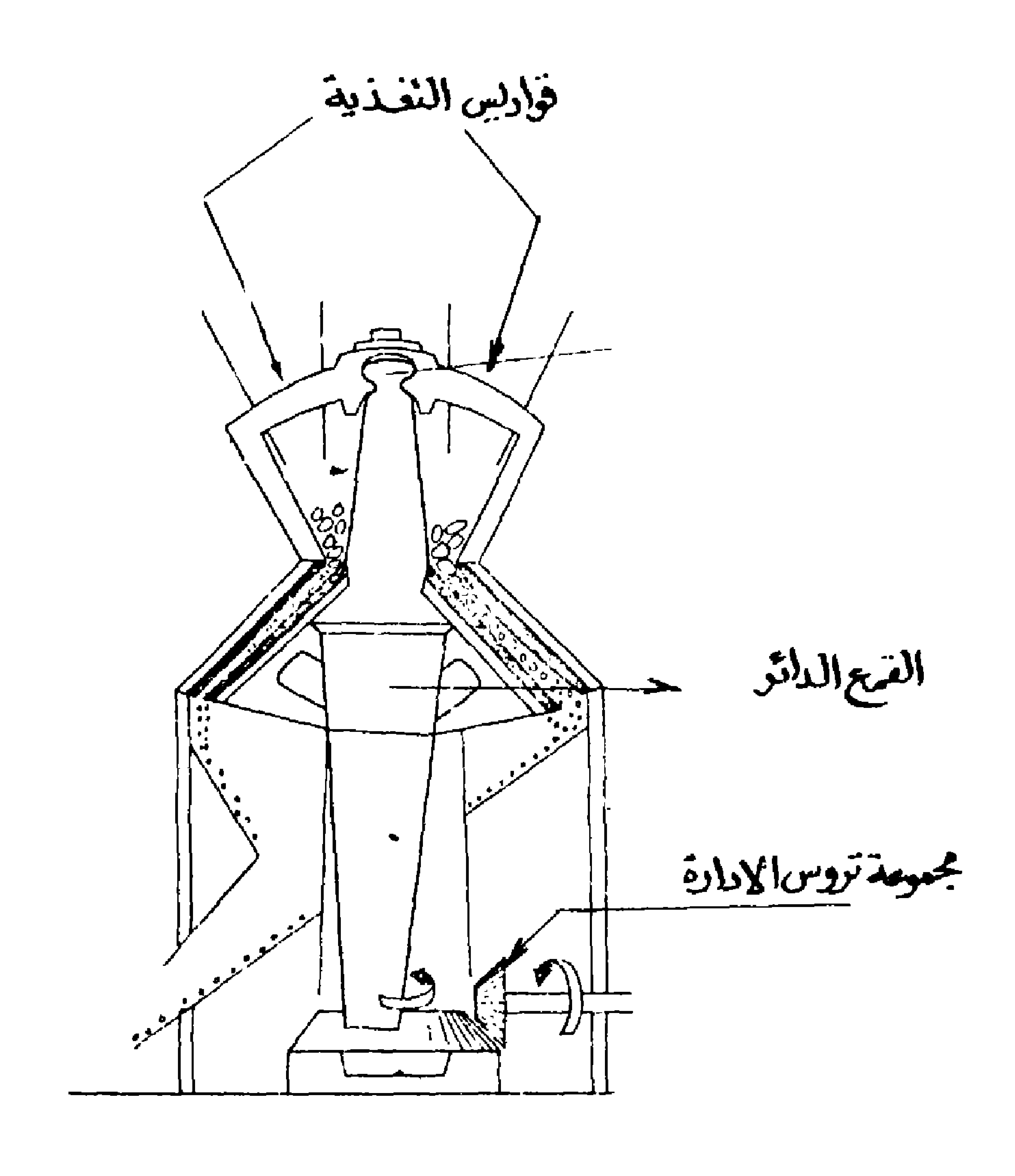
وتستخدم فى عمليات التكسير النهائى، مجموعة من الكسارات، تختلف عن سابقاتها فى التصميم، حيث أن طبيعة العمل وحجم الخام الداخل والخارج أقل بكثير منه فى الحالة السابقة، وأهم أنواع الكسارات المستخدمة فى التكسير النهائى هى:

(أ) الكسارات المخروطية.

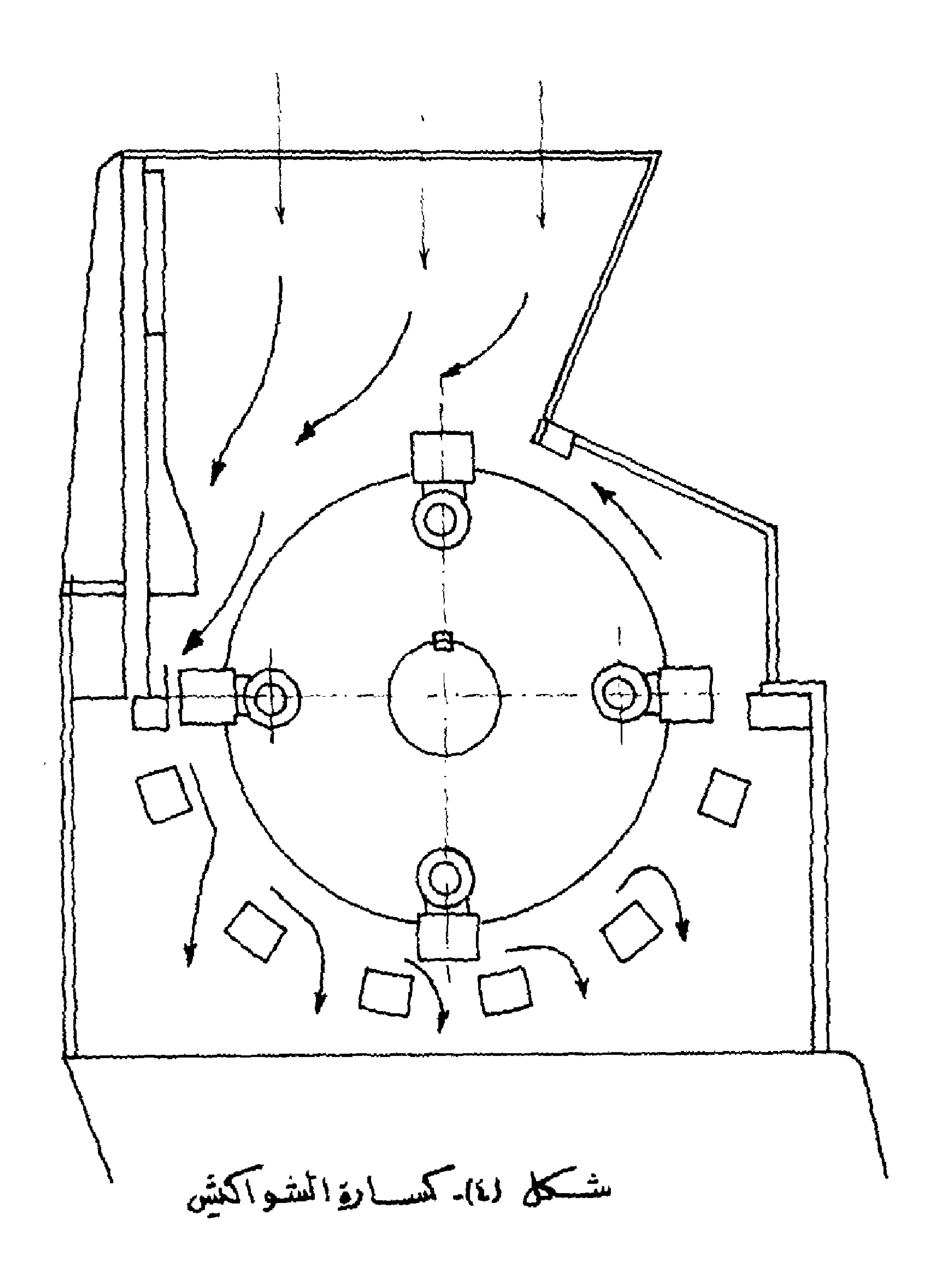
(ب) كسارات الشواكيش.

(ج) الكسارات الأسطوانية.

والكسارات المخروطية والأسطوانية، تماثل تلك التى سبق ذكرها من حيث الشكل وإدارة العمل، وأما كسارة الشواكيش، (الشكل ٤)، فهى عبارة عن مجموعة من الشواكيش المركبة على أسطوانة تدور، وبالتالى تكتسب الشواكيش سرعة تؤدى إلى قطع الخام عند اصطدامها به، وتعتبر الكسارات المخروطية أكثر هذه الأنواع انتشاراً واستخداماً.



شكل رقم ٣ الكساره المخروطية



شكل (٤)- كسارة الشواكيش

ثانياً ـ عمليات الطحن :

تنتج عن عمليات التكسير السابق ذكرها ، كميات من الخام ذات أحجام أقل من الأحجام المطلوبة فى عمليات الصهر اللاحقة ، وهى تمثل نسبة عالية تؤثر فى اقتصاديات المناجم ، لذا يتم تجميعها ودمجها صناعيا فى أحجام تتناسب وعمليات الصهر ، كما هو متبع فى عمليات التكوير ، التحبيب ، والتطويب ، والتلبيد ، وغيرها من العمليات الصناعية ، التى تعتمد على ربط حبيبات الخام الناعمة بعضها ببعض ، باستخدام مواد رابطة . ولقد أوضحت الأبحاث العلمية أن هناك حجماً أمثل لحبيبات الخام ، يؤثر تأثيراً مباشراً على جودة الخليط الصناعى المنتج وخواصه ، ولذلك فمن اللازم أن تجرى عمليات طحن لهذه الخامات ، بهدف الحصول منها على هذه الأحجام . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن غالبية عمليات تركيز الخام التى تعتمد أساسا على فصل الشوائب فيه مثل الفصل المغناطيسى ، وعمليات التعويم وغيرها ، تتطلب فى بعض الأحيان أحجاماً غاية فى الدقة ، حتى يمكن الإستفادة من التفاوت فى الخواص الفيزيقية كالوزن ، والمغنطة ، والذوبان ، إلخ . فى عمليات الفصل بين المعدن والشوائب مما يستلزم طحنها طحناً دقيقاً .

وتستخدم فى عمليات الطحن الدقيق مجموعة من الطواحين أهمها :

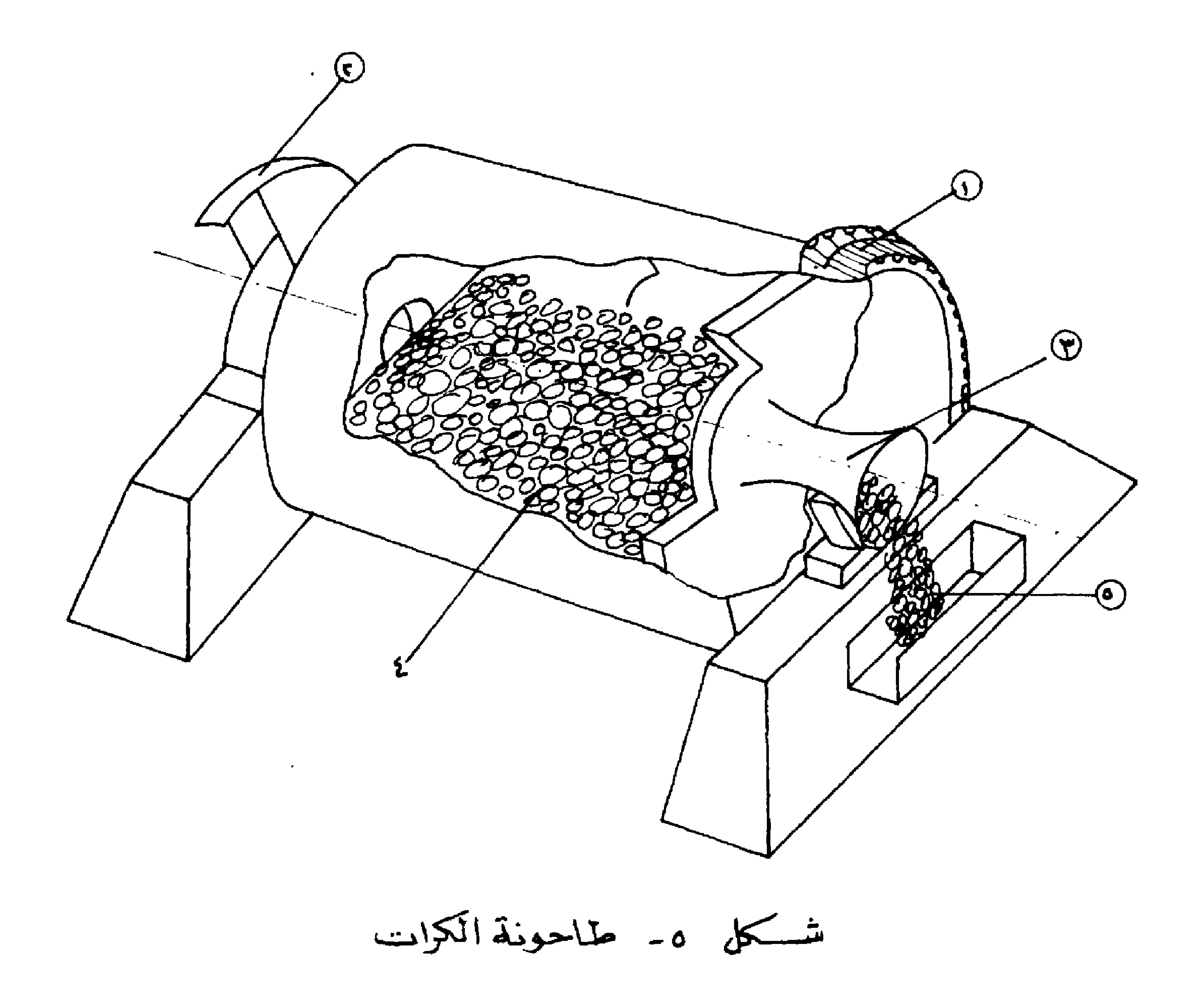
(أ) طاحونة القضبان .

(ب) طاحونة الكرات .

(ج) طاحونة المواسير .

وأهمها وأوسعها انتشاراً ، طواحين الكرات ، وطواحين القضبان . وتتكون الطاحونة من أسطوانة من الصلب تدور حول محورها ، وتكون إما مخروطية فى نهايتها ، وذلك عند استخدام المياه لحمل ناتج الطحن ، أو تميل على الأفق بزاوية ٣° . ويتدافع الخام منها نتيجة الحركة الدورانية تجاه نهايتها ، حيث يوجد منخل يسمح بمرور الأحجام المطلوبة . أما مايزيد عنها ، فيعود ثانية إلى الطاحونة فى دائرة مغلقة ليعاد طحنه . ويحدث الطحن نتيجة الخبطات التى تسببها القضبان أو الكرات للخام المشحون ، بالإضافة إلى احتكاك الخام بعضه ببعض .

وتظل القضبان أو الكرات ملامسة لسطح الأسطوانة الداخلى حتى الارتفاع الذى تتغلب فيه الجاذبية الأرضية على السرعة الدورانية التى يكتسبها القضيب أو الكرة ، نتيجة



شكل ٥ - طاحونة الكرات

دوران الأسطوانة فتسقط . لذلك يجب ألا تزيد السرعة على القيمة التى تسمح بذلك ، أى تتحاشى الوصول إلى السرعة التى يصبح عندها القضيب أو الكرة جزءا متحركا لاينفصل عن الأسطوانة ، وهى التى تسمى « السرعة الحرجة » ، وعندها يصبح عدد لفات الأسطوانة حسب المعادلة التالية :

حيث :

ن ، عدد لفات الأسطوانة فى الدقيقة ،

ق ، قطر الأسطوانة بالسنتيمترات .

وتستعمل طاحونة الكرات فى الحالات التى تتطلب أحجاما صغيرة من الخام ، بينما تستعمل طاحونة القضبان للحصول على أحجام أكبر ، وإنتاجيتها أكبر من طاحونة الكرات بالنسبة لحجم معين من الخام .

ثالثا ـ عمليات تجميع نواعم الخام :

تنتج عن عمليات طحن الخام أو عمليات التركيز التى سنذكرها فيما بعد ، كذلك تتولد عن عمليات تنظيف غازات الأفران العالية ، كميات هائلة من الخام الناعم ، الذى لايمكن استخدامه فى الأفران العالية مباشرة ، ولكن لايمكن إهمالها اقتصاديا ، ولذلك تخضع هذه الأحجام للمعالجة ، بغرض ربط وتجميع حبيباتها فى أحجام أكبر ، تكون متماسكة وتجانسة ، ولها الخواص اللازمة للخامات المشحونة بالأفران العالية .

وتجميع هذه الخامات الناعمة وربطها بعضها ببعض ، إما أن يكون نتيجة إضافة مواد رابطة ، دون أن تتعرض الخامات الناعمة ذاتها للانصهار ، وإما أن تنصهر هذه جزئيا بالحرارة ، فتترابط معا نتيجة ذلك ، دون إضافة لمواد رابطة . ومن النوع الأول طرق التطويب ، والتكوير ، والتحبيب . ومن طرق النوع الثانى عمليات التلبيد . وفيما يلى شرح موجز لهذه الطرق .

١ ـ التطويب :

فى هذه العملية ، تخلط الخامات الناعمة مع المواد الرابطة فى أسطوانات خلط دورانية ، مع إضافة نسبة محدودة من الماء لترطيب الخليط . ثم يشكل الخليط بالضغط فى مكابس هيدروليكية أو ميكانيكية إلى الأحجام المطلوبة . وتترك القوالب المنتجة بعد ذلك فترة من

الزمن حتى تتماسك ، بعدها تجفف فى أفران تجفيف (درجة حرارتها لاتتعدى ١٥٠° مئوية) ، أو تترك فى الهواء حتى تجف . وتمتاز القوالب الناتجة بالتماسك المتين ، وبالمقاومة الكبيرة للضغوط والاحتكاك .

والمواد الرابطة المستخدمة فى هذه الحالة ، هى عادة الأسمنت ، أو الطين الحرارى ، أو القطران ، أو الجير . يستخدم الجير بصفة خاصة مع الخامات التى تحوى نسبة عالية من السيليكا .

٢ - التكوير :

يشحن الخليط المرطب من الخام والمواد الرابطة بعد تقطيعه إلى قطع صغيرة ، مع الفحم الناعم جداً ، فى أسطوانات دورانية أفقية ، حيث تتحول القطع الصغيرة إلى كرات يغطى سطحها الخارجى بالفحم الناعم جداً ، لإكسابها الصلابة المطلوبة ، ثم يترك الناتج ليجف . وهذه الطريقة حديثة الاستخدام نسبيا ، ولكنها تنتشر بسرعة فى أمريكا ، واليابان ، والاتحاد السوفيتى .

٣ - التحبيب :

تجرى هذه الطريقة فى أفران دورانية عالية الحرارة ، وتتشبه إلى حد كبير عملية التكوير ، وإن كانتا تختلفان فى طبيعة المادة الرابطة ، والمادة الرابطة فى حالة التحبيب هى (المعجون) الناتج عن عملية تسخين الخام إلى درجة حرارة قريبة من نقطة انصهاره .

وقد يضاف القطران أحياناً بنسب صغيرة ، ليكون بمثابة نواة لتجميع الحبيبات حوله ، ثم يتطاير بارتفاع درجة حرارة الفرن .

وتحتاج هذه الطريقة إلى دقة بالغة ، حيث يلزم تسخين الخام إلى درجة الحرارة التى تبدأ عندها ميوعته أو طراوته ، دون أن ينصهر . ويكون الناتج عادة غير مسامى ، مما يصعب معه استغلاله فى الفرن العالى ، خاصة وأن التحكم فى أحجام المنتج لايزال يسبب الكثير من المتاعب .

٤ - التلبيد :

هو إحدى عمليات تجميع نواعم الخامات ليعاد شحنها بالفرن العالى . وهى تعتمد على ربط حبيبات هذه الخامات بعضها ببعض ، برفع درجة حرارتها إلى مايقرب من نقطة انصهارها ، وذلك عن طريق احتراق كميات الفحم الناعم التى تضاف إلى هذه الخامات .

ونتيجة لذلك تتكون سيليكات المعدن ، ودرجة حرارة انصهارها منخفضة نسبيا ، وهى التى تقوم بدور ربط الحبيبات مع بعضها بعضاً . وبالإضافة إلى ذلك ، تتكون مجموعات أخرى من المركبات الكيميائية ، تلعب دورا رئيسيا فى الربط بين الحبيبات .

ونظراً لأرتفاع درجة الحرارة اللازمة للعملية فإن عملية التلبيد يمكن اعتبارها إحدى عمليات التحميص . ذلك لأن خامات السيدريت والكبريتيدات ، تتخلص من غاز ثانى أكسيد الكربون ، ويحترق الكبريت فيها تباعا خلال عملية تلبيدها .

وتتكون وحدة تلبيد الخامات ، من مجموعة من العنابر يختص كل منها بعملية محددة تتم داخلها ، وتكون فيما بينها خط الإنتاج المتكامل .

(١) **عنبر الاستقبال :** هو المكان الذى تستقبل فيه الخامات التى تستخدم فى الوحدة ، وهى خامات الحديد أو مركباتها ، والفحم الناعم ، والحجر الجيرى أو الجير ، الدولوميت ، وقشور الدرفلة ، وبيريت الحديد ، وأتربة غازات الأفران العالية . ويتكون العنبر من مجموعة من الصوامع ، يحدد توزيعها وتقسيمها على الخامات حسب الكميات المطلوبة من كل منها ، وتسحب الخامات منها بعدئذ إلى عنبر الشحن ، أو إلى حوش تشحين الوحدة حسب الحاجة .

(٢) **عنبر الشحن :** ويتكون من مجموعة من الصوامع ، كل منها مجهز بميزان هزاز فى أسفلها ، يتحكم فى كميات الخامات المسحوبة منه تباعا ، وفقا للحسابات المحددة للشحنة ، بمعنى أن الشحنة على السير الناقل المائل أفقيا أسفل هذه المجموعة من الصوامع ، تكون من طبقات من الخامات يعلو بعضها بعضا . وعلى سبيل المثال ، قد تتوالى الطبقات على النحو الآتى :

خام الحديد ـ رماد البيريت ـ تراب الغازات ـ قشور الدرفلة ـ الحجر الجيرى ـ فحم الكوك ـ ثم ناتج مروقات المياه ، ويجرى تغذية هذه الصوامع بالخامات باستخدام عربات توزيع خاصة .

(٣) **عنبر الخلط :**

تنقل الخامات من عنبر الشحن ، عن طريق السير المار أسفل الصوامع الى عنبر الخلط ، الذى يحوى مجموعة من الصوامع لاستقبال الشحنة المذكورة ، ويحوى كذلك صوامع استقبال راجع التلبيد البارد ـ وهو اللبيد ذو الأحجام الأقل من المطلوب للأفران

العالية ، والناتج عن عملية نخل اللبيدات ، ثم صوامع راجع اللبيد الساخن الناتج على عملية النخل قبل المبرد ، والتى تحوى أحيانا بعض الخامات التى لم يتم تلبيدها ، وذلك بالإضافة إلى الأتربة المجمعة على ماسورة السحب .

وتوجد بالعنبر أيضا أسطوانة الخلط ، وهى اسطوانة مائلة على الأفق بمقدار ٢ر٥ درجة ، تلف حول محورها الأفقى بسرعات متعددة تتراوح مابين ٤ ، ١٠ لفات فى الدقيقة ، وبها مجموعة من الرشاشات ، لتوصيل المياه اللازمة لترطيب الشحنة . وتغذى الأسطوانة عند أحد طرفيها ، بالشحنة مضافا إليها نسبة محسوبة من راجع اللبيد البارد والساخن ، حيث تعمل البريمة الأسطوانية الموجودة داخل الأسطوانة على تقليب الشحنة ، وبالتالى تجنيسها وتكويرها . وتخرج من الطرف الآخر للأسطوانة ، الشحنة المتجانسة . وتتراوح القدرات الإنتاجية لأسطوانة الخلط من ١٢٠ إلى ١٨٠ طن /ساعة .

(٤) عنبر مكنة التلبيد :

وهنا يتم تحويل خليط شحنة الخام واللبيد المرتجع المتجانس والمخلوط بعنبر الخلط إلى لبيد متماسك صالح للاستخدام فى الأفران العالية.، ويحوى العنبر صومعة استقبال للشحنة ، وأسطوانة خلط أخرى ، الغرض منها إعادة تجنيس الشحنة وتكويرها مع ضبط كمية الرطوبة اللازمة للشحنة قبل عملية تلبيدها (١٢٪ تقريبا) . كذلك يحوى العنبر مغذى بندولى لتوزيع الشحنة فى طبقات متماثلة بعرض حصيرة المكنة ، وكذلك يوجد فرن الإشعال .

ولكن أهم محتويات هذا العنبر ، هى مكنة التلبيد ذاتها . وهى عبارة عن مجموعة عربات متحركة على سير لانهائى شكل ١٥ ، مركب بها مجموعة من القضبان (الباظات) ، ذات شكل معين ، تكون فيما بينها مايشبه الحصيرة ، ولذلك تسمى حصيرة التلبيد ، بينها فراغات تسمح بسحب الهواء خلال شحنة الخامات المطلوب تلبيدها والتى تعلوها . لذلك يجرى نخل الشحنة الخارجة من أسطوانة الخلط الثانوى ، وتجميع الأحجام الكبيرة منها نسبيا ، حيث تفرش على سطح حصيرة التلبيد قبل إضافة الشحنة بأحجامها الناعمة ، وتتلخص فائدة هذه الطبقة من الأحجام الكبيرة ، فى منعها للأحجام الصغيرة من الهبوط بين فتحات الباظات عند سحب الهواء ، وكذلك لتخفيف أثر زيادة رطوبة الغازات الخارجة فى نهاية عملية التلبيد ، لتحاشى تكوين طبقة طينية تغلق الفجوات بين الباظات ، تقاوم عملية

سحب الهواء خلال الشحنة . ويوجد تحت حصيرة المكنة ، عدد من غرف سحب الهواء كل منها مزودة ببلف اختناق متصل بمروحة سحب الغازات العادمة .

وتوجد فى العنبر أيضا كسارة اللبيد المركبة فى نهاية المكنة لتكسير كتل اللبيد إلى الأحجام المناسبة . ويتبعها منخل اللبيد الساخن الذى يستقبله قبل شحنه بالمبرد لفصل الأحجام الصغيرة منه (أقل من ٥ إلى ٨ مم) ، وذلك لرفع كفاءة التبريد للمبرد ، وينتهى عنبر المكنة بمبرد اللبيد الذى يستخدم لخفض درجة حرارة اللبيد (٦٥٠° م - ٧٠٠° م) إلى حوالى ١٠٠° م ، باستخدام مروحة لسحب الهواء الجوى خلال شحنة المبرد ، ليمكن نقل اللبيد باستخدام سيور الكاوتشوك الناقلة ، دون تعريضها للاحتراق .

وتجهز وحدة التلبيد عادة بمجموعات من أجهزة التحكم الآلى ، والأوناش ، ومحطات التشحيم ، ومحطات طلمبات ، ومحطات تكييف الهواء ، وسحب الأتربة الناعمة من محيط العمل ، بالإضافة إلى ورش كاملة الأعداد للميكانيكا ، والكهرباء ، والأجهزة .

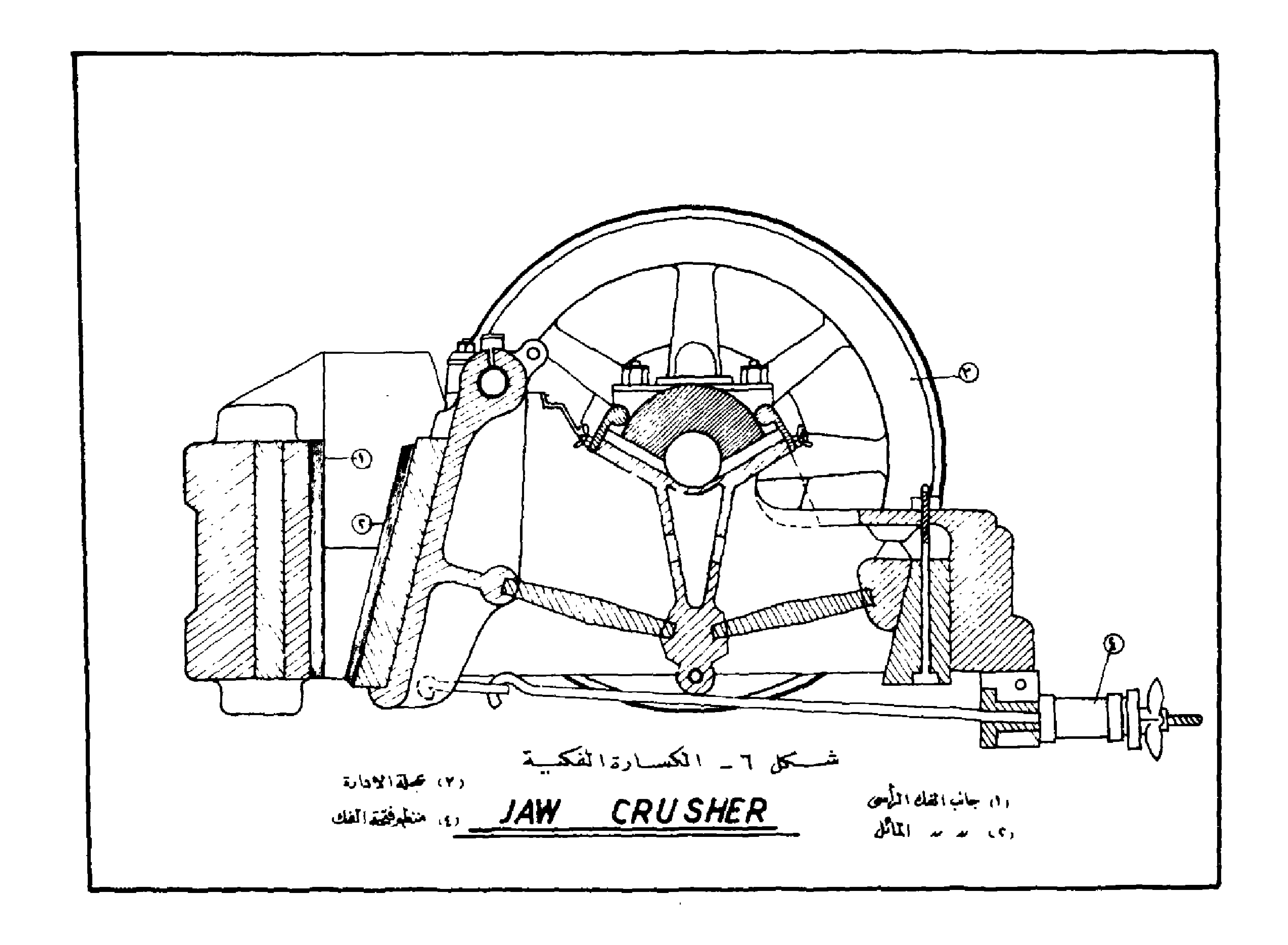
شرح عملية التلبيد :

بعد فرش طبقة الخامات وراجع اللبيد الخشنة على الحصيرة ، تضاف عن طريق المغذى البندولى ، شحنة اللبيد المتجانسة ، ويسوى سطحها بواسطة أسطوانة دورانية ، لتمر بعد ذلك تحت فرن اشعال مكنة التلبيد . وهو عبارة عن فرن إشعال مبطن بالطوب الحرارى به مجموعة من الرشاشات التى تعمل بالمازوت ، وعليه تشتعل المواد القابلة للاشتعال على سطح الشحنة (الكوك) ، ويسحب الهواء خلال غرف السحب ، فترتفع درجة حرارة الشحنة ، وتنتقل منطقة الاحتراق تدريجيا إلى أسفل تصحبها مجموعة من التغييرات الفيزيقية والكيميائية التى ينجم عنها اللبيد بعدئذ . ولإيضاح مايحدث ، يمكن تصور أن هذه التفاعلات تتم فى طبقات منفصلة كل منها عن الأخرى ، وتتدرج من أسفل إلى أعلى ، حسب الترتيب التالى (شكل ٦) .

١ - طبقة من الشحنة الاصلية ، وهى لم تتعرض للتغيرات بعد .

٢ - الطبقة الطينية ، وهى طبقة الشحنة الباردة التى تكثف على سطحها بخار الماء المتصاعد من مناطق الاشتعال والتفاعلات التى تعلوها ، وبالتالى كونت مع حبيبات الشحنة مايشبه الطين .

٣ - الطبقة المجففة ، وهى الطبقة الموجودة تحت منطقة الاشتعال مباشرة فى اتجاه السحب ، والتى تتسبب الغازات الناتجة من المنطقة التى تعلوها فى تجفيفها وإعدادها .



شكل ٦ ـ الكسارة الفكية

JAW CRUSHER

٤ ـ منطقة الاشتعال ، وهى المنطقة المجففة التى ارتفعت درجة حرارة مكوناتها تدريجيا نتيجة مرور الغازات الساخنة الناجمة عن التفاعلات والاشتعال بالمناطق التى تعلوها ، حتى بلغت درجة حرارة الوقود الموجود بالشحنة ، درجة حرارة الاشتعال ، فبدأ يشتعل . وفى جميع المراحل التى سبق ذكرها ، تكون الغازات الناتجة ذات طبيعة اختزالية ، بمعنى أن أكاسيد الشحنة تتعرض للاختزال النسبى بمرور هذه الغازات خلالها ، ولو أن درجة الحرارة المنخفضة لاتساعد على ذلك كثيرا .

٥ ـ منطقة الأكسدة ، بانتهاء عملية الاشتعال ، ومع ارتفاع درجة حرارة المنطقة ، وفى الوقت ذاته مع مرور الهواء الجوى المؤكسد خلال الشحنة ، فإن كثيراً من الأكاسيد السابق اختزالها ، وكذلك بعض الأكاسيد غير المشبعة بالأوكسچين ، وخاصة الناتجة من تحلل كربونات وكبريتدات المعدن تجد الفرصة لاستعادة الأوكسيچين المسلوب منها . وتتبع عملية الأكسدة هذه ، إعادة بناء بلورات المعدن على سطح حبيبات الخام ، مكونة بذلك ارتباطاً بين كل حبة من الخام المجاورة لها . وقد يبدأ الارتباط خلال مرحلة الاختزال التى تسبق مرحلة الاشتعال والأكسدة .

وتنتج خلال تفاعلات الأكسدة المذكورة ، كميات هائلة من الحرارة ، يتبعها ارتفاع درجة حرارة الشحنة ومكوناتها ، فتتحد بعض أكاسيد المعدن مع بعض الشوائب كالسيليكيا ، مكونة السيليكات ، التى تتسبب فى ترابط حبيبات الخام بعضها ببعض ، عند انخفاض درجة الحرارة وتماسك هذه السيليكات مكونة اللبيد .

ومع استمرار سحب الهواء خلال شحنة اللبيد ، وابتعاد منطقة الاشتعال عن طبقة ما ، تتم فى الواقع عملية تبريد جزئى للشحنة فى هذه المنطقة .

ومن الطبيعى أن تتداخل هذه الطبقات إحداها فى الأخرى ، بمعنى أنه ليس هناك فاصل محدد دقيق يفصل بينها . ذلك أن هناك العديد من الخواص الكيميائية والفيزيقية ، التى تتحكم فى مثل هذه التفاعلات المتواصلة ، حتى يتم تلبيد آخر شحنة فوق الباظات .

ويتراوح سمك شحنة اللبيد على الحصيرة مابين ١٥ و ٣٠ سم .

ومعدل انتقال سطح الاشتعال داخل الشحنة ، يسمى « سرعة التلبيد الرأسية » . وعليه يجب الربط بين السرعة الأفقية للمكنة ، وبين سرعة التلبيد الرأسية هذه ، بحيث تتم عملية التلبيد تماماً ، مع اقتراب نهاية مسار المكنة ، أى حتى قرب نهاية غرف سحب الهواء .

وتتحكم فى اللبيد المنتج ، خواص كيميائية وفيزيقية تحدد مدى جودته ، وتصلح أساساً للمقارنة . وهذه الخواص هى :

١ ـ الصلابة ، والتماسك ، وكبر الحجم .

٢ ـ أن يكون له قدرة تفاعل كيميائى كبيرة ، وكذلك مسامية كبيرة .

٣ ـ أن تكون المكونات صعبة الاختزال قليلة ماأمكن .

٤ ـ أن لايوجد أى جير فى صورة حرة ، أى غير مرتبط بمواد أخرى ، لأن ذلك يقلل من صلابة اللبيد ، ومقاومته للظروف الجوية والتخزين .

ويلاحظ أن بعض المتطلبات من الخواص المذكورة ، تتعارض فيما بينها ، فمثلا تعتمد قوة التماسك والصلابة إلى حد بعيد على نسبة سيليكات المعدن صعبة الاختزال ، وغير المرغوب فيه وجودها . لذلك كان إنتاج اللبيد الذى يلائم كل المتطلبات ، يكاد يكون مستحيلا ، وخاصة إذا كانت الخامات المستخدمة أصلاً غير عالية النقاء ، ويخضع الاختيار فى تفضيل أحد المتطلبات على الآخر ، للتجربة المحلية لكل وحدة ، وكل خام ، وكل مكان .

٢ ـ إعداد الخام لتحسين خواصه الكيميائية

يتلخص هذا الإعداد فى عمليات تركيز الخامات ، وهى العمليات التى تجرى عليها بهدف فصل الشوائب والمواد غير المرغوب فيها ، والتى تكون متحدة كيميائيا أو مختلطة بها . وتبعاً لذلك ، تنوعت واختلفت أساليب العلاج بدءاً من التنقية اليدوية على السيور الناقلة خلال عمليات التكسير ، إلى التصنيف ، والفصل المغناطيسى أو الكهربائى ، أو استخدام طريقة الوسط الثقيل ، وكلها عمليات تجرى فى درجات الحرارة العادية ، وأخيراً التحميص الذى تتعرض فيه الخامات لرفع درجات حرارتها .

وعموماً ، تعتمد عمليات التركيز من حيث المبدأ ، على إمكانية استغلال اختلاف الخواص الفيزيقية والكيميائية للخامات والشوائب الملازمة لها ، فى فصل حبيبات كل منها عن بعضها بعضاً . ويتم ذلك بإحدى الطرق التالية :

١ ـ التصنيف .

٢ ـ التركيز باستخدام التوتر السطحى .

٣ ـ الفصل المغناطيسى .

٤ ـ الفصل الكهربائى .

٥ ـ التحميص .

١ ـ **التصنيف** : وتعتمد هذه الطريقة على اختلاف الكثافة ، والحجم ، والشكل لحبيبات المواد المطلوب تركيزها ، بمعنى استغلال كل المؤثرات التى تؤثر فى مسار هذه الحبيبات فى وسط سائل . وتجرى هذه العملية بضغط السائل خلال طبقة من الخام ، ثم يسحب السائل بعد ذلك لتعود مكونات الطبقة إلى السكون مرة أخرى ، وهكذا ، فعند اندفاع السائل تسبح مكونات طبقة الخام فى حمام مغلق ، بحيث ترتفع المكونات الثقيلة بقدر محدود ، أما الشوائب الخفيفة ، فترتفع مسافة أكبر ، ثم بسحب السائل ، يحصل على تدرج للحبيبات المكونة للطبقة حسب أوزانها ، أما الشوائب الخفيفة ، وخاصة المواد الطينية ، فيتم التخلص منها مع ارتفاع السائل فجأة فى الحمام ، وحيث أن كمية السائل المدفوعة أكبر من حجم الحمام ، فإن الزيادة تتسرب إلى توصيلات جانبية ، حاملة معها هذه المواد الخفيفة . وبتكرار هذه العملية ، تتكون فى الحمام طبقات من المكونات الثقيلة ، تنتقل بعدئذ إلى أماكن التخزين . وهى إما حبيبات صغيرة ذات كثافة عالية ، وإما حبيبات كبيرة ذات وزن ثقيل . ولذا تجرى عليها بعد ذلك عمليات فصل بالمناخل أو « الغرابيل الآلية » أو باستخدام « طاولات التركيز » ، ليتم فصلها بعضها عن بعضها الآخر ، وبالتالى يتم الحصول على الخام المركز .

مما تقدم ، يتضح أن الفصل فى طريقة التصنيف المشار إليها ، قد اعتمد فعلياً على الوزن الكلى للحبيبات المفصولة ، مما قد ينجم عنه أن يكون ناتج عمليات الفصل حاوياً لمعادن أخرى لها نفس كثافة المعدن المطلوب فصله أو أكثر منها ، بالإضافة إلى احتمال وجود حبيبات كبيرة من حبيبات الشوائب المراد فصلها . لذلك استحدثت طريقة الفصل المعروفة باسم « الفصل باستخدام الوسط الثقيل » ، التى تعتمد على كثافة المواد المراد فصلها ، واختلافها عن كثافة الشوائب والمواد غير المرغوبة الموجودة معها . فمثلا نجد أن كثافة السيليكا تساوى ٢,٦٥ جم لكل سم^{٣} ، وكثافة أكسيد الحديد تساوى ٣,٥ جم لكل سم^{٣} ، وعليه فإذا وضع الخام فى سائل كثافته ٣ جم لكل سم^{٣} ، فإن السيليكا تطفو ، بينما يترسب أكسيد الحديد فى القاع . وتستخدم الجالينا أو الماجنتيت فى الحصول على السائل ذى الكثافة العالية . وتستخدم هذه الطريقة مع الحبيبات الكبيرة نسبياً ، وهى رخيصة التكاليف ، وتحتاج لعناية تامة فى استرداد المادة المضافة لرفع كثافة الوسط السائل .

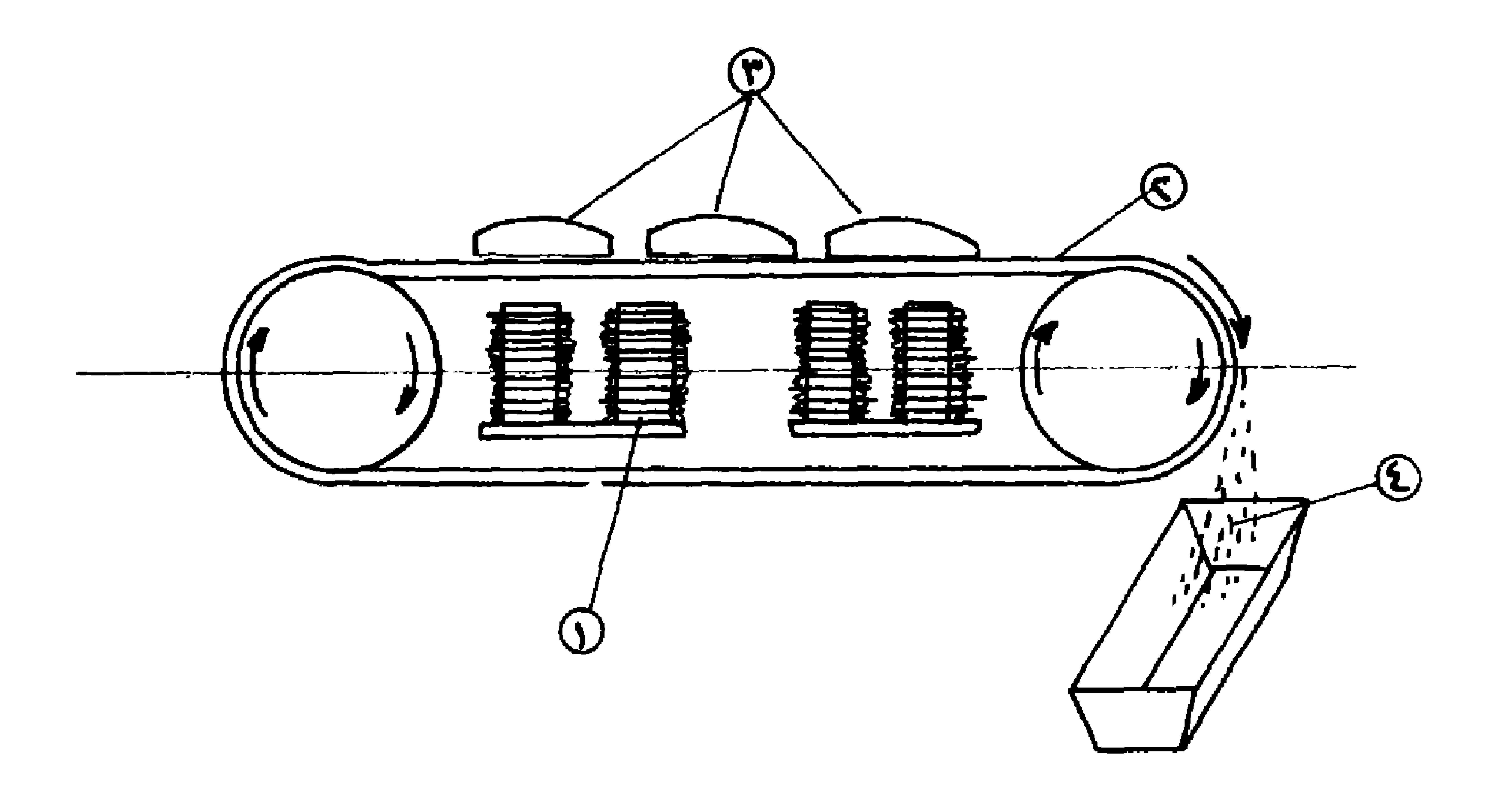
٢ ـ التركيز باستخدام التوتر السطحي : وتعتمد هذه الطريقة على اختلاف حساسية التوتر السطحي للمعادن المختلفة . وتطبق على الخامات المطحونة الناعمة جداً ، ولا تقتصر نتائجها على فصل المعدن عن الخام ، بل تتعداها إلى فصل المعادن بعضها عن بعض . ويمكن تلخيص فكرتها في الآتي :

بإمرار فقاعات هوائية خلال سائل يحوى حبيبات من معادن مختلفة ، فإن بعض ذرات هذه المعادن تعلق بالفقاعات ، وترتفع لتعوم على سطحه ، حيث يمكن تجميعها واستخلاص المعادن منها . ولما كانت الخواص السطحية للخامات والمعادن ، تتفاوت فيما بينها تفاوتاً صغيراً جداً ، فلهذا يجب تكبير هذا التفاوت ، ويتم ذلك باستخدام مركبات عضوية تسمى « المجمعات » ، وهي إما زيوت عضوية مثل الكيروسين ، أو الديزل ، أو زيت الوقود ، أو قواعد عضوية . ومن خواص هذه المجمعات ، أن تتأين في المحاليل المائية ، وعليه تتحد مع أيونات المعدن المراد فصله ، مكونة مركبات غير قابلة للذوبان في المحلول ، تغطى سطح المعدن وتكسبه صفة التوتر السطحي للزيت المستخدم ، بمعنى تملكه لزاوية التصاق كبيرة مع الماء .

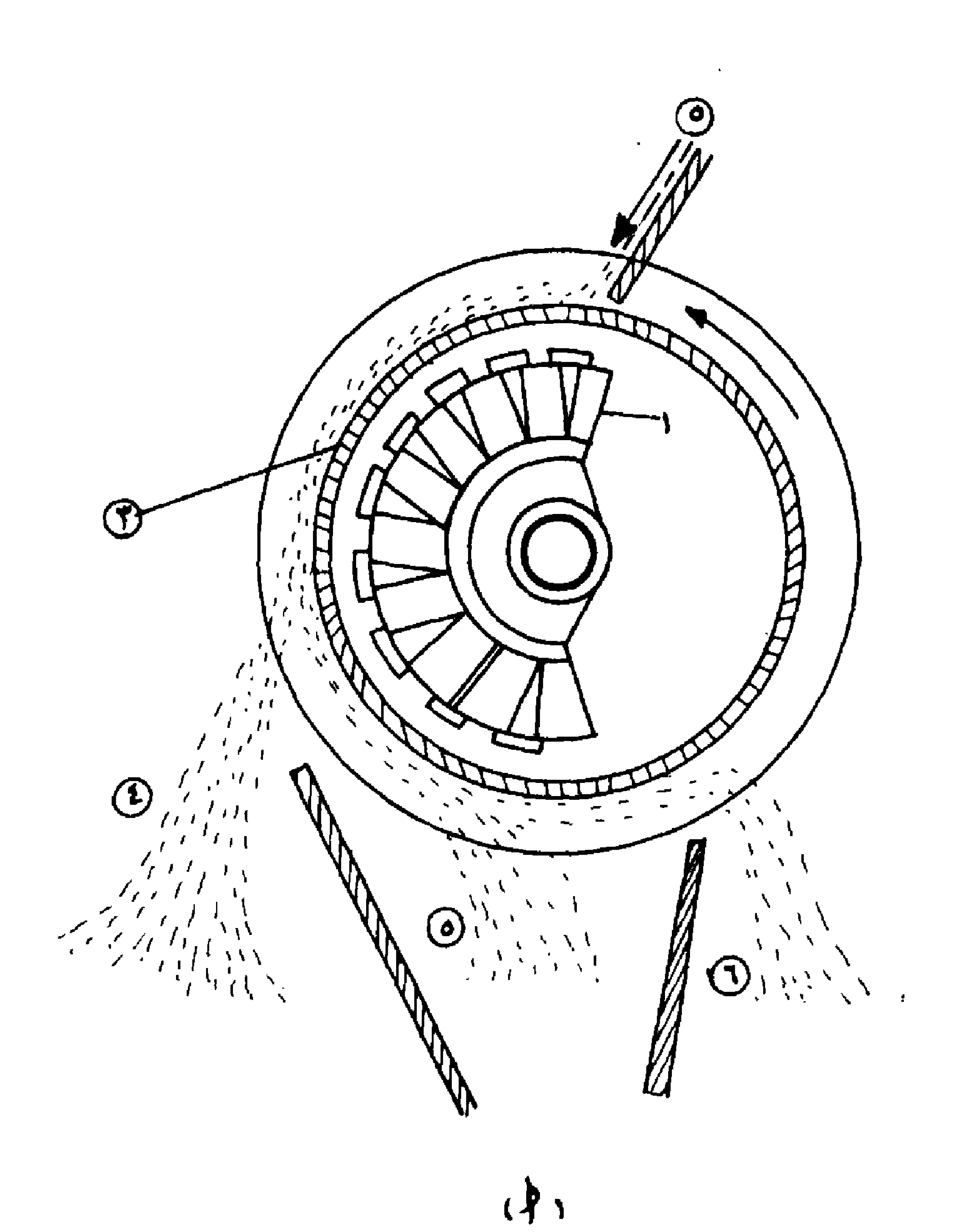
واختيار نوعية المجمع ، يعتمد أساساً على عوامل أهمها :
(ا) طبيعة المعادن الذى يحتوى عليها الخام .
(ب) درجة أكسدة هذه المعادن .
(ج) وجود المعادن الثقيلة ، حتى ولو بنسبة ضئيلة .

وعلاوة على ذلك ، فإن إضافات أخرى تضاف إلى المحلول وتسمى « المنظمات » . وتتركز أهميتها في حفظ « الرقم الهيدروجيني » للمحلول في أضيق الحدود ، بحيث يمكن التفرقة بين المعادن نتيجة لمدى تجاوبها مع قيمة هذا الرقم الهيدروجيني . وتستخدم الكربونات وسيليكات الصوديوم وحامض الكبريتيك والقلويات لذلك .

ويمكن ، بتنشيط أو تهبيط خواص السطح للمعادن باستخدام « المنشطات » أو « المهبطات » ، أن يتم فصل المعادن بعضها عن بعض . وتتلخص نظرية عمل المنشطات أو المهبطات ، في تعريض أو عدم تعريض سطح المعادن للمحيط . فمثلا عند فصل الرصاص عن الجالينا ، يستخدم كبريتيد الصوديوم ، الذى يغطى سطح الجالينا تماما ، حتى لاتجد أى أيونات للرصاص أية جالينا طليقة ترتبط بها ، وعلى هذا فكبريتيد الصوديوم يعتبر مفيدا في



الشـــكل ٧ - ١ الفاصل المغناطيسى ذو السيور



(أ)

شـــكل ٨ - الفاصل المغناطيسى الدائرى

هذه الحالة كمهبط ، وهكذا . ويحدث التنشيط أو التهبيط إما عن طريق عامل مساعد ، كالمثال السابق ، أو بمنع ترسيب مركب الجمع على سطح المعدن .

وتضاف عادة فى مثل هذه العمليات ، مواد تسمى « المرغيات » أو المواد التى تساعد على تكون فقاعات ثابتة ، لها القدرة على حمل المادة المطلوب تعويمها ، وفى الوقت نفسه لاتكون معه ارتباطا قويا ، بحيث يمكن فصل المعدن عنها برشها بالماء .

وتجرى عملية الفصل هذه فيما يسمى « خلية التعويم » ، حيث يضغط الهواء خلال المحلول الموجود بها ، فتتكون فقاعات تتصاعد إلى سطحه ، حاملة المعدن المطلوب ، حيث تتجمع على هيئة فقاقيع تسحب إلى مجمعات المعالجة ، للحصول على المعدن منها بالرش بالماء . ثم ينقل المحلول إلى خلية أخرى حيث تجرى عليه نفس الخطوات السابقة ، ثم إلى أخرى ، وهكذا ، حتى تنخفض نسبة المعدن فى المحلول إلى النسبة التى لايمكن استغلالها بعدها فيلق به . وتتميز هذه الطريقة بإمكانية معالجتها للأحجام الناعمة جداً التى لايمكن معالجتها بطرق أخرى .

٣ ـ **الفصل المغناطيسى** : تتميز بعض العناصر بخواصها المغناطيسية ، وبالتالى يستفاد صناعياً بهذه الخواص فى عمليات فصل المعادن عندما توجد بها شوائب ليست لها هذه الخاصية . وعليه فإذا تعرضت الحبيبات القابلة للمغنطة لمجال مغناطيسى ، فانها تنفصل تاركة الشوائب المختلطة بها ، ويجرى ذلك بإمرار هذا الخليط على سير ناقل تحت مغناطيس قوى ، حيث تعلق الحبيبات القابلة للمغنطة بالمغناطيس ، وتنفصل عما دونها (شكل ٧) .

ومن المعروف أنه كلما زادت مغناطيسية أحد المواد ، كلما أمكن تأثيرها بمجال مغناطيسى أضعف . وعليه ، فبإضعاف قوة المغناطيس تباعاً من الشمال إلى اليمين (شكل ٨) ، تزيد مغناطيسية الفصل ، وبالتالى يمكن فصل المعادن كل عن الآخر ، وفقاً لخاصيته المغناطيسية . ويمكن أيضا باستخدام هذه الطريقة ، فصل الحبيبات غير المغناطيسية حسب أحجامها (أو أوزانها) .

٤ ـ **الفصل الكهربائى** : تختلف قدرة المعادن على توصيل التيار الكهربائى ، فمنها جيدة التوصيل ، والأقل جودة ، فالأقل ، وهكذا . وقد استخدمت هذه الخاصية فى فصل هذه المعادن بعضها عن بعض ، وذلك بتعريضها لشحنات كهربائية استاتيكية كبيرة ، ثم توصيلها بالأرض عن طريق موصل جيد ، فتكون نتيجة ذلك ، أن المعادن جيدة التوصيل تنفذ

شحنتها بسرعة ، بينما تفقدها الأقل جودة بمعدل أقل ، وتحتفظ بهـا الخـامات رديئة التوصـيل لفترة أطول . ومعنى هذا أن المعادن الجيدة ، تفقد ارتباطها بالموصل بسرعة عن المعادن رديئة التوصيل ، والتى تظل عالقة بالموصل الكهـربائى لمسافة أكبر . وتسـتخدم هذه الطريقـة فى فصل مكونات الرمال السـوداء المتعـددة ، وكذلك فى حـالة ماإذا كانت حبيبات المعـادن المطلوب فصلها متجانسة جميعا ، وطـريقتا الفصـل المغنطيسى والكهـربائى تتطلبان طحـن الخامات لأحجام صغيرة جدا ، الأمر الذى يقل معه اسـتخدامها على نطاق صـناعى كبير ، نظرا لزيادة التكاليف الرأسمالية .

٥ ـ **تحميص خامات الحديد** : سبق أن أشرنا إلى أن عملية تركيز الخـام تهـدف إلى زيادة نسبة الحديد فيه ، وذلك بتخليص الخام بقدر المستطاع من الشوائب العـالقة به . وقد تكون هذه الشـوائب صـلبة أو غازية ، وبناء على ذلك ، تعتبر عملية تحميص كربونات الحـديد (السيدريت) لتخليصها من غاز ثان أكسيد الكربون ، من عمليات تركيز الخام . وتتلخص هذه العملية فى تسخين هذا النوع من الخام إلى درجة حرارة عالية ، دون درجة حـرارة بدء انصهاره (ميوعته) مع السماح للكميات الكبيرة من الهواء بالمرور خلال طبقات الخـام ، وقد يستخدم أحيانا هواء لافح . وعندما تصل درجة حرارة الخام إلى درجة الحرارة التى يساوى أو يزيد فيها الضغط الجزئى لغاز ثانى أكسيد الكربون على الضغط المحيط ، يتصاعد الغـاز ويتخلص منه وفقا للمعادلة الآتية :

وبعملية حسابية بسيطة ، نجد أنه إذا تعرض خام السيدريت الذى يحوى ٣٥٪ حديد لعملية التحميص ، وخلص من كل مالديه من غاز ثانى أكسـيد الكربون ، فإن نسـبة الحـديد به ترتفع الى ٤٥٪ .

وتستخدم عملية التحميص أيضا لخامات بيريت الحديد ، حيث يمكن التخلص من نسـبة كبيرة من الكبريت الذى بها .

المصادر الأخرى لمعدن الحديد

بالإضافة إلى المصدر الطبيعى الرئيسى لمعدن الحديد، وهو خاماته الموجودة فى الطبيعة، فإن هناك مصادر أخرى صناعية تولدت للتطور التكنولوجى الذى صاحب صناعة الحديد والصلب فى السنين الأخيرة. ولقد ظهر هذا التطور فى صدر العديد من الطرق، بهدف إمكانية معالجة التباين فى خواص وتحاليل الخامات،، وحتى يمكن تحقيق الخواص المطلوبة للصلب المنتج. ويلزم للتخلص من الشوائب العديدة تحت ظروف خاصة لتخليص المعدن منها، إدماجها كمركبات كيائية فى الخبث المنتج. وعليه تتولد مجموعات من الخبث تحوى نسبا عالية من المعدن الذى تسرب إليها مع عمليات فصلها عن باق حباته. وهذه المصادر وإن كانت لا تصلح بمفردها للاستغلال. إلا أنه نظراً لخواصها وتركيبها الكيميانى، تصلح كإضافات إلى شحنات الأفران العالية، بحيث يمكن استخلاص المعدن منها والاستفادة من باق مكوناتها. وتتميز غالبية الخبث ـ موضع الحديث ـ باحتوائها على نسبة عالية من المنجنيز أو الفسفور، مع توازنها أو زيادة طفيفة للجير فيها. وفيا يلى نتعرض لأكثر مجموعات الخبث انتشارا وهى:

(أ) خبث الأفران المفتوحة:

هو خبث مرتفع القاعدية، ويحوى نسبة عالية من المنجنيز تتراوح مابين ٩,٥٪، ويحوى كذلك نسبة عالية من المعدن تتراوح مابين ١٨,١٢٪. وعليه فبإضافتها إلى شحنة الفرن العالى، وخاصة عند إنتاج أنواع من الزهر عالى المنجنيز، يمكن الإقلال من إضافة الحجر الجيرى، وتخفيض ماتبع هذه الإضافة من أثر سلبى على اقتصاديات التشغيل.

(ب) رماد مدخنة المحولات:

وهو خليط من الخبث والحديد، يتطاير من فوهة المحولات وهى فى وضعها الرأسى خلال عمليات النفخ، ويحوى من ١٠ إلى ٢٠٪ من الحديد. وفى حالة محولات توماس، تصل نسبة الفسفور فيه إلى ٧٪. ولما كان الرماد ناعما جداً. فتلزم معالجته فى وحدة التلبيد قبل استخدامه.

(ج) خبث الأفران الغاطسة وأفران التسخين بأقسام الدرفلة:

وهو خبث حامضى يحوى نسبة عالية من السيليكا (٢٠ إلى ٢٨٪) ونسبة تتراوح مابين

٥٠ و ٥٥٪ من المعدن ، ويفضل استخدامه بالأفران العالية أحياناً ، لما له من أثر فعال فى إزالة الرواسب التى قد تتكون بالمخروط العلوى بها .

وبالإضافة إلى مجموعات الخبث هذه ، هناك مصدر آخر هو الأكاسيد التى تتولد من خلال عملية درفلة المعدن ، أو خلال عمليات طرقه لتشكيله ، والتى تتكون من ماجنتيت نقى يحوى من ٦٠ الى ٧٠٪ من وزنه من المعدن .

(د) مصادر أخرى :

ومن المصادر الأخرى أيضاً ، المعدن أو أكاسيده المتولدة عن عمليات تحميص كبريتيد الحديد فى المصانع الكيميائية لإنتاج حامض الكبريتيك ، والتى يتولد عنها مايسمى بالبيريت ، وهو يحوى من ٥٥ إلى ٦٠٪ من المعدن . وكذلك ناتج عمليات صناعة الألومنيوم من البوكسيت ، حيث يتبقى فى نهاية العمليات الصناعية خليط يحوى ٣٠٪ من الحديد . ويعتبر من المصادر الأخرى للمعدن ، باقى عمليات استخلاص النحاس من خاماته ، وهى تحوى عادة نسبا عالية من الحديد ، حيث يحوى هذا الباقى حوالى ٥٠٪ منه من الحديد . وتمتاز هذه المصادر برخص سعرها بالنسبة إلى الخام ، كما أن استخدامها يمثل طريقة من طرق استغلال نفايات المصانع التى يلزم التخلص منها .

المصهرات

تحوى غالبية خامات الحديد نسبا من الشوائب غير المرغوب فيها ، وتكون هذه حامضية التكوين ، غالبا ، وغير قابلة أو صعبة الإسالة فى درجات الحرارة السائدة فى الفرن العالى ، كما يتضح من الجدول التالى :

المادة	نقطة الانصهار	المادة	نقطة الانصهار
الألومينا	٢٠٥٠° م	الجير	٢٦٧٠° م
الماجنيزيا	٢٨٠٠° م	السيليكا	١٧١٠° م

كما يحوى الكوك رمادا به نسبة عالية من السيليكا ، بالإضافة إلى الكبريت ، العدو الأول للحديد . ويعتبر الكوك أهم مصادره بشحنة الفرن العالى .

وللتخلص من هذه الشوائب جميعاً ، تضاف المصهرات ، التى يمكن تعريفها بأنها المواد التى ترتبط مع الشوائب صعبة السيولة أو غير المرغوب فيها ، ومع الكبريت ، ومع رماد الفحم ، مولدة مركبات كيميائية سهلة الإسالة بالأفران العالية . وينتج عن هذا الارتباط تكون مركب كيميائى جديد ، هو خليط من السيليكا والألومينا والجير وأكاسيد المنجنيز ، ويسمى « الخبث » ، الذى يتميز بقدرته الكبيرة على الاتحاد بالكبريت ، وبالتالى الإقلال من الكبريت الطليق القابل للاتحاد بالمعدن .

وأهم هذه المصهرات ، (مساعدات الصهر) ، الحجر الجيرى ، والدولوميت ، والطباشير الفوسفورى .

(ا) الحجر الجيرى :

يوجد الحجر الجيرى لحسن الحظ فى مناطق عديدة ، وتتعدد اسماؤه حسب ظروف تكوينه ، ومصدره ، وحسب مظهره وملمسه ، وحسب مكوناته الاساسية . فمثلا يقال حجر جيرى رملى ، أو حجر جيرى صينى ، أو حجر جيرى حديدى ، أو حجر جيرى حبيبى ، الخ .

ومن الطبيعى ، أن تقييم صلاحية الحجر الجيرى للعمليات الميتالورجية ، يعتمد أساساً على نسبة الجير المتبقية بعد خصم الكمية اللازمة لموازنة الشوائب (عادة السيليكا) الموجودة به . وتضيف هذه الشوائب عبئاً على العمليات الميتالورجية ، حيث أنها تتسبب فى زيادة كمية الخبث الناتج ، وبالتالى تسبب زيادة استهلاك الوقود ، وتقلل من كفاءة شحنة الفرن وإنتاجيته . ومن أهم شوائب الحجر الجيرى ، بالإضافة إلى السيليكا ، الكبريت ، والفوسفور . لذلك يجب ألا يحوى الحجر الجيرى فى العمليات الميتالورجية أكثر من ٠,١٪ من وزنه من أى منها ، ولو أن زيادة الفسفور فى حالة إنتاج زهر توماس مرغوب فيها .

ويعالج الحجر الجيرى الناتج من المناجم فى الكسارات ، للحصول على الأحجام المناسبة للشحن فى الفرن العالى ، والتى يجب ألا يتعدى حجمها ٧٠ مم . وتنتج عن ذلك كميات من النواعم غير المناسبة ، تستخدم فى عمليات التلبيد والتكوير .

(ب) الدولوميت :

ترجع أهمية استخدام الدولوميت كمساعد صهر، إلى أن للماغتريا مقدرة كبيرة على الاتحاد بالسيليكا، فيتحد كل كجم منها مع ١,٥١ كجم من السيليكا، بينما يتحد كل كجم من الجير مع ١,٠٨ كجم منها فقط. هذا بالإضافة إلى ماأثبتته الأبحاث الحديثة، من أن قدرة الماغتريا على انتزاع الكبريت، وتخليص المعدن منه، أكبر من قدرة الجير. ولكن، نظراً لتأثير الماغتريا على سيولة الخبث، فقد حد ذلك من استخدام الدولوميت بكمية كبيرة فى شحنات الأفران العالية، حيث أن الماغتريا تسبب الإقلال من سيولة الخبث إذا كان وجودها فيه بنسب قليلة. بينما تزيد سيولة الخبث إذا وجدت بنسبة تزيد على ٥ إلى ٦٪. ولهذا يفضل وجودها بالأفران العالية بهذه النسبة المرتفعة، إلا إذا كان فى زيادة نسبتها تأثير ضار على استعمالات الخبث المنتج.

(ج) الطباشير الفسفورى :

تعتبر من الإضافات التى تفضل فى حالة الرغبة فى الحصول على حديد زهر توماس. ويعتبر فوسفات الجزائر من أجود هذه الأصناف. ويحوى هذا الخام نسبة من الجير تعادل ٤٠٪ ونسبة من الفسفور تعادل حوالى ٤٪.

الرمل : ويستخدم الرمل كإضافة مع الخامات والشحنات التى تزيد فيها نسبة الجير إلى السيليكا على النسبة المقبولة للأفران (١,٢ ـ ١,٢٥)، وذلك لموازنة الخبث الناتج، حيث أن الخبث عالى القاعدية، يحتاج إلى كميات إضافية من الوقود لإسالته.

الوقود المستخدم بالأفران العالية

إن أهم أنواع الوقود المستخدمة فى صناعة الحديد والصلب عامة، هى الكوك، والمازوت، وغاز الأفران العالية، والغازات الطبيعية، وغازات الكوك. وعموماً يعتبر الكوك المصدر الرئيسى للطاقة الحرارية بالأفران العالية، غير أن العديد من الوحدات المساعدة كمسخنات الهواء والغلايات، تستخدم هذه الغازات أو المازوت كمصادر لإعداد الطاقة الحرارية اللازمة لها.

ونستعرض فيما يلى مصادر هذه الأنواع وخواصها فى صورة سريعة، الهدف منها التوضيح المبسط دون الدخول فى التفاصيل.

١ ـ **فحم الكوك** : ينتج فحم الكوك من عمليات تسخين الفحم الحجرى (تسمى أحياناً عملية الكربنة أو التكويك) ، بمعزل عن الهواء ، فتتصاعد المكونات المتطايرة ، ويتخلف باق عام هو الكوك . وتجرى هذه العملية فى أفران خاصة (الشكل ٢١) اكتشفت بألمانيا بمصانع كوبرز عام ١٨٩٩ أبعادها ١٢ × ٠,٤ × ٤ أمتار ، تبنى فى مجموعات متتالية تكون مايسمى « بطارية إنتاج الكوك » . ويفصل كل فرن عن الآخر ، غرفة الاحتراق التى يجرى فيها احتراق غازات الأفران العالية أو غاز الكوك ، فى مسارات متعرجة داخل الغرفة ، مما ينتج عنه تسخين الطوب الحرارى لجدران الغرفة ، إما بالتلامس المباشر ، وإما بالإشعاع ، كذلك ترتفع درجة حرارة الجدران الفاصلة بين الغرف المملوءة بالفحم الحجرى ، وتتم نتيجة لهذا عملية تقطيره .

ولما كان من الضرورى الحصول على الكوك متجانس التكوين ، فإنه يلزم إجراء عمليات طحن وخلط للفحم ، بحيث تتجانس شحنات أفران التكويك . وبالتالى تختار خلطة الفحم المستخدمة للتكويك من الفحم الحيوانى عالى المواد المتطايرة ، الذى يمتاز بأنه يتضخم ببطء ، وينتج عائداً أقل ، ومن الفحم منخفض المواد المتطايرة الذى يتضخم بشدة ، ويعطى عائداً أكبر . وفائدة هذا الخليط ، أنه لايعرض جدران الأفران لضغوط عالية ، قد تسبب تهدمها ، كما أنه يحقق إنتاجاً كبيراً .

وحيث أن تسخين غرف الاحتراق يخضع لمراقبة دقيقة ، فإن ناتج عملية التقطير الرئيسى وهو الكوك ، لابد أن يكون متجانسا . ونلخص عمليات التكويك فيما يلى :

١ ـ ينقل الفحم الناعم بسيور خاصة إلى برج الفحم ، أى مكان تخزينه الموجود أعلى بطارية الكوك . ويسحب منه بواسطة « عربة الشحن » التى تتحرك على مسار خاص فوق سطح البطارية .

٢ ـ تضبط عربة الشحن فوق الغرف المراد شحنها . وبواسطة أجهزة خاصة موجودة بالعربة ، يزال غطاء الغرف ، فيتساقط الفحم الحجرى إلى داخلها ، ثم يغلق الباب ثانية بواسطة قضيب متحرك يوجد فى آلة الرفع ، ويسوى سطح الشحنة داخل الفرن .

٣ ـ يترك الفحم داخل الغرف ، معرضاً للحرارة الناتجة عن ارتفاع حرارة طوب جوانب الفرن ، حتى تتم عملية التقطير الإتلافى . ويمكن معرفة ذلك عن طريق أجهزة تحليل الغازات الناتجة والتحكم فيها ، ويستغرق ذلك فترة تتراوح مابين ١٤ و ١٨ ساعة .

٤ - عند انتهاء عملية التكويك ، يفتح الباب الجانبى بواسطة عربة الفتح ، وتدفع شحنة الفرن عن طريق آلة الرفع المثبتة فى الجانب الآخر من الفرن ، وتخرج شحنة الفرن على هيئة قالب ملتهب ، لتستقبلها « عربة التفريغ » التى تنقلها مباشرة إلى « برج تبريد الكوك » حيث ترش بكمية محسوبة من الماء لتبريد الكوك بسرعة ، حتى لايحترق فى الجو.

٥ - ينقل الكوك بعد ذلك إلى « منحدرات الكوك » حيث يسحب منها عن طريق بوابات خاصة إلى سير ناقل ، ومنه إلى عمليات النخل ، حيث تفصل الأحجام الصغيرة ، ثم تصدر الأحجام الكبيرة (فوق ٤٠ مم) إلى الأفران العالية.

أهم خواص الكوك الميتالورجى :

يتميز الكوك اللازم لعمليات إنتاج الحديد الزهر ، وللعمليات الميتالورجية عامة ، بمجموعة من الخواص الفيزيقية والكيميائية التى تتناسب وطبيعة العمليات المستخدم فيها . وتعتمد هذه الخواص إلى حد كبير ، على نوع الفحم المستخدم ، وزمن تكويكه ، ودرجة الحرارة المستخدمة ، وحجم ونوع الفرن المستخدم . ونلخص فيما يلى هذه الخواص :

(ا) الخواص الفيزيقية :

١ - أن يكون حجمه كبيرا (من ٤٠ إلى ١٢٠ مم).

٢ - أن لايحتوى على كوك ناعم.

٣- أن تكون مقاومته للاحتكاك كبيرة ، وذلك حتى لايتفتت عند احتكاك بعضه ببعض.

٤ - أن يكون قادراً على تحمل الضغط ، وخاصة فى درجات الحرارة العالية.

٥ - أن يكون صلبا محدود المسامية ، حتى لايحترق بسهولة وسرعة.

٦ - أن تكون درجة حرارة بدء انصهاره عالية.

(ب) الخواص الكيميائية :

١ - أن تكون نسبة الكبريت فيه أقل مايمكن ، ذلك لأنه المصدر الأول للكبريت فى شحنة الأفران العالية (عادة أقل من ١,٢٪).

٢ - أن تكون نسبة الرماد فيه أقل مايمكن (عادة أقل من ١١٪) . وقد لوحظ أن خفض كمية الرماد من ١٧٪ إلى ٣,٥٪ يتولد عنه خفض ١٠٪ فى حجم إنتاج الخبث ، مصحوباً بخفض فى كمية الكوك المستخدمة ، بما يعادل ٤٪ من الكمية الأصلية ، مع زيادة إنتاج الحديد الزهر بما يعادل ٤٪.

٣ ـ أن لاتتعدى نسبة الرطوبة به ٥٪ بأى حال .

٤ ـ أن تكون نسبة الكربون الثابتة فيه أعغلى مايمكن (على الأقل ٧٨٪) .

وللأهمية الخاصة للكوك ، يخضع المنتج للعديد من الاختبارات الكيميائية لتحديد نسب الكبريت ، والرماد والرطوبة ، والكربون الثابت ، والمواد المتطايرة . كما يخضع للعديد من التجارب ، لاختيار الخواص الفيزيقية التي تحدد قدرته على تحمل الضغط ، وكذلك تحدد مقاومته للتصادم ، وصلابته ، وتماسكه ، ويتم ذلك في سلسلة من الاختبارات المتفق عليها دولياً ، لتحديد مدى مطابقته للمواصفات المذكورة .

٢ ـ غاز الكوك :

تتولد عن عمليات التقطير الإتلافي (أو التكويك أو الكربنة) للفحم الحجرى في بطاريات الكوك ، كميات هائلة من غاز الكوك الخام ، والتي تتراوح بين ٣٠٠ و ٣٥٠ م٣ لكل طن من الفحم الحجرى المستخدم . ويتكون الغاز الخام من بخار الماء ، بالإضافة إلى غاز الهيدروجين ، والأوكسيجين ، والنتروجين وأول وثانى أكسيد الكربون ، مع نسب بسيطة من الميثان والبنزول ، بجانب العديد من المواد الأخرى . وينقى غاز الكوك الخام ، بتخليصه من الرطوبة والبنزول وكبريتيد الهيدروجين ، ونحصل بذلك على غاز الكوك النقى الذى تبلغ سعته الحرارية من ٣٨٠٠ إلى ٤٠٠٠ كيلو كالورى لكل متر مكعب .

ويستخدم غاز الكوك في الأغراض الصناعية التي تلزم فيها قيمة حرارية عالية ، علاوة على استخداماته في صناعة الصلب ، وفى الافران المفتوحة ، وفى مسخنات هواء الأفران العالية ، وفى أفران التسخين بأقسام التشكيل ، وفى تسخين أفران بطاريات الكوك أحياناً إذا كانت في مكان لايوجد فيه غاز الأفران العالية . كذلك يمكن استخدامه في الأغراض التي يستخدم فيها غاز الاستصباح ، وهو يعادله تقريباً في تركيبه وخواصه .

٣ ـ غاز الأفران العالية :

وهو أحد المنتجات الجانبية لعملية إنتاج الحديد الزهر من الأفران العالية . وهو عبارة عن خليط من غازات قابلة للاشتعال ، مثل أول أكسيد الكربون ، والهيدروجين والميثان ، وغازات غير قابلة للاشتعال مثل النتروجين ، وثانى أكسيد الكربون .

ويحتوى الغاز الخام على كميات من نواعم المشحونات التي تشحن في الفرن بكمية كبيرة

تتراوح مابين ١٠ إلى ٢٠ كجم لكل م٣. وبتنقيته منها، نحصل على غاز الأفران العالية النقى بتحليل متوسط كالآتى:

نتروچين	٥٧٪
ثانى أكسيد الكربون	٣٠٪
أول أكسيد الكربون	١٠ إلى ١٢٪
هيدروچين	٢ إلى ٣٪
ميثان	آثار بسيطة

ومن التحليل، يتضح أن الغاز يحوى نسبة عالية من المكونات غير القابلة للاشتعال، مما يؤدى إلى الإقلال من قيمته الحرارية، حيث تبلغ سعته الحرارية من ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ كيلو كالورى/م٣ من الغاز. ولكن وبمعرفة أن كل طن من الكوك المستخدم فى الفرن العالى ينتج من ٣٨٠٠ إلى ٤٠٠٠ م٣ الغاز، نجد أن الفرن الذى يستهلك ٦٠٠٠ طن من الكوك يومياً، ينتج ٢٣,٤ مليون م٣ من الغاز تحوى تقريباً ٢ × ١٠^٧ كيلو كالورى، ويتضح أن غاز الأفران العالية، مصدر كبير من مصادر الطاقة الحرارية التى يجب استغلالها.

ويستغل غاز الأفران العالية فى تسخين مسخنات الهواء، وفى مصانع الكوك، وفى أفران التسخين بوحدات الدرفلة والمعالجة الحرارية، كما يمكن استخدامه فى الغلايات للحصول على البخار اللازم للعمليات الميتالورجية، وكذلك فى تشغيل التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية، ومما سبق يتضح أن غاز الأفران العالية مصدر هام من مصادر الطاقة والتى يجب استغلالها استغلالاً كاملاً، فتنخفض بالتالى تكلفة الإنتاج.

ونورد كمثال، كيفية استغلال غاز الأفران العالية المنتج فى مصانع الحديد والصلب بحلوان، وهو كما يلى:

ـ لعمليات الأفران العالية	٣٠ إلى ٣٥٪
ـ لباقى وحدات المصانع	٢٠ إلى ٢٥٪
ـ لتوليد الكهرباء بمحطة كهرباء التبين	٣٠ إلى ٣٣٪
ـ فاقد الغاز خلال عمليات النفخ	١٠٪
ـ كميات لايستفاد منها وتحترق	إلى ١٠٪ (وهى نسبة عالية)

٤ ـ الغازات الطبيعية :

وهى خليط من الغازات يكون الميثان غالبيتها، ومصدرها حقول البترول أو حقول

الغازات الطبيعية ، وتنقل الغازات إلى المصانع خلال شبكات من المواسير . وهي تكون احتياطيات يمكن استغلالها متى اتيحت الفرصة لإحلالها محل جزء من الكوك المستخدم فى العمليات الميتالورجية ، وخاصة عمليات التسخين والاختزال .

٥ ـ المازوت :

وهو أحد منتجات عمليات تقطير البترول الخام . ويستخدم فى تسخين الغلايات وأفران التسخين بأنواعها ، حيث يخلط مع غاز الأفران العالية أو الكوك . كما استخدم حديثاً فى الأفران العالية لإحلال جزء من الكوك المستخدم ، وتبلغ سعته الحرارية ۷۲۰۰ كيلو/طن .

الباب الثانى

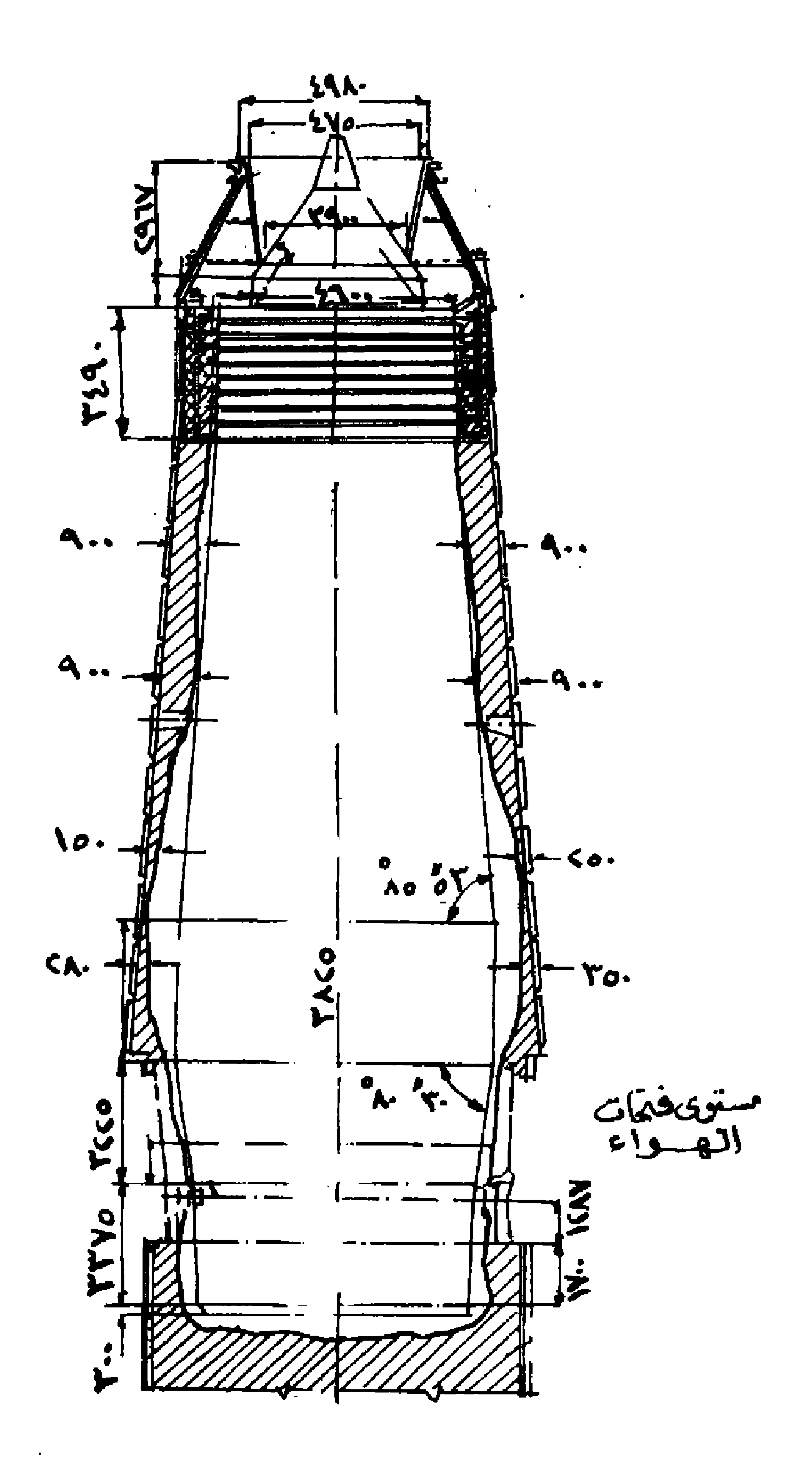
وصف الفرن العالى

يجب أن يحقق تصميم الفرن العالى بأجزائه المختلفة ، القيام بأداء وظيفته الأساسية ، والتى تتلخص فى استغلال مكونات شحنة الفرن من الخام ، والحجر الجيرى أو الدولوميت ، وفحم الكوك ، والإضافات الحديدية ، علاوة على الهواء اللافح الداخل من قرب نهايتها السفلى فى إنتاج الحديد الزهر والخبث اللذين يسحبان من فتحات خاصة فى الجزء الأسفل للفرن ، بالإضافة إلى غاز الأفران وأتربة الغازات التى تتصاعد من أعلاه .

وتتعرض المشحونات خلال هبوطها بالفرن الى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيقية ، فترتفع درجة حرارتها ويزداد حجمها فى الجزء العلوى من الفرن ، لتعود مرة أخرى فى قرب نهاية رحلتها داخله الى الانكماش نتيجة انصهارها . لذلك كان من اللازم أن يكون شكل الفرن (بروفيله) بالكيفية التى تسمح بإتمام هذه العمليات على الوجه الأكمل .

ويتكون الفرن فى شكله العام ، من مخروطين ناقصين يتلاقيان بقاعدتيهما الكبيرتين ، يسميان « المخروط العلوى » و « والمخروط السفلى » ، تبعاً لوضعهما بالفرن .وينتهى المخروط السفلى بقاعدته الصغيرة فى المكان الذى يتجمع فيه ناتج إنصهار المشحونات بأسفل الفرن ، والذى يسمى « بودقة الصهر » . والأفران العالية تعتبر من الوحدات الإنتاجية المستمرة التى لايجوز إرباكها أو إعاقتها . ويعنى ذلك استمرار شحن الخامات ، وخروج الغازات وما تحمله من أتربة من أعلى الفرن ، وسحب الخبث والحديد على فترات زمنية منتظمة من أسفله . ومما يزيد من صعوبة التشغيل ، وبالتالى مما يحتم ضرورة التحكم الدقيق فيه ، أن العملية مغلقة ، حيث لايمكن أن يشاهد بالعين مايتم فى مراحلها المتوسطة . وعليه يجب أن يجهز الفرن العالى بالعديد من أجهزة القياس والتحكم ، التى يمكن عن طريقها تتبع الخطوات المختلفة فى مراحل التشغيل .

وبالاضافة الى ماسبق ، فان طبيعة العمل تقتضى أن يتعامل الفرن مع كميات ضخمة من المشحونات ومن المنتجات . ويكفى أن نعلم أن الطن الواحد من الحديد الزهر المنتج ، يحتاج فى المتوسط العادى إلى ٢ طن من الخام ، ٠,٧ طن من الحجر الجيرى ، ١ طن من الفحم ، ٤ أطنان من الهواء اللافح . ويتبع ذلك انتاج ٦ أطنان من الغازات ، و ٠,٧ طن من



شكل ٩ - بروفيل الفرن ج بمصانع ماجنيتوجورسك الروسية بعد التشغيل .

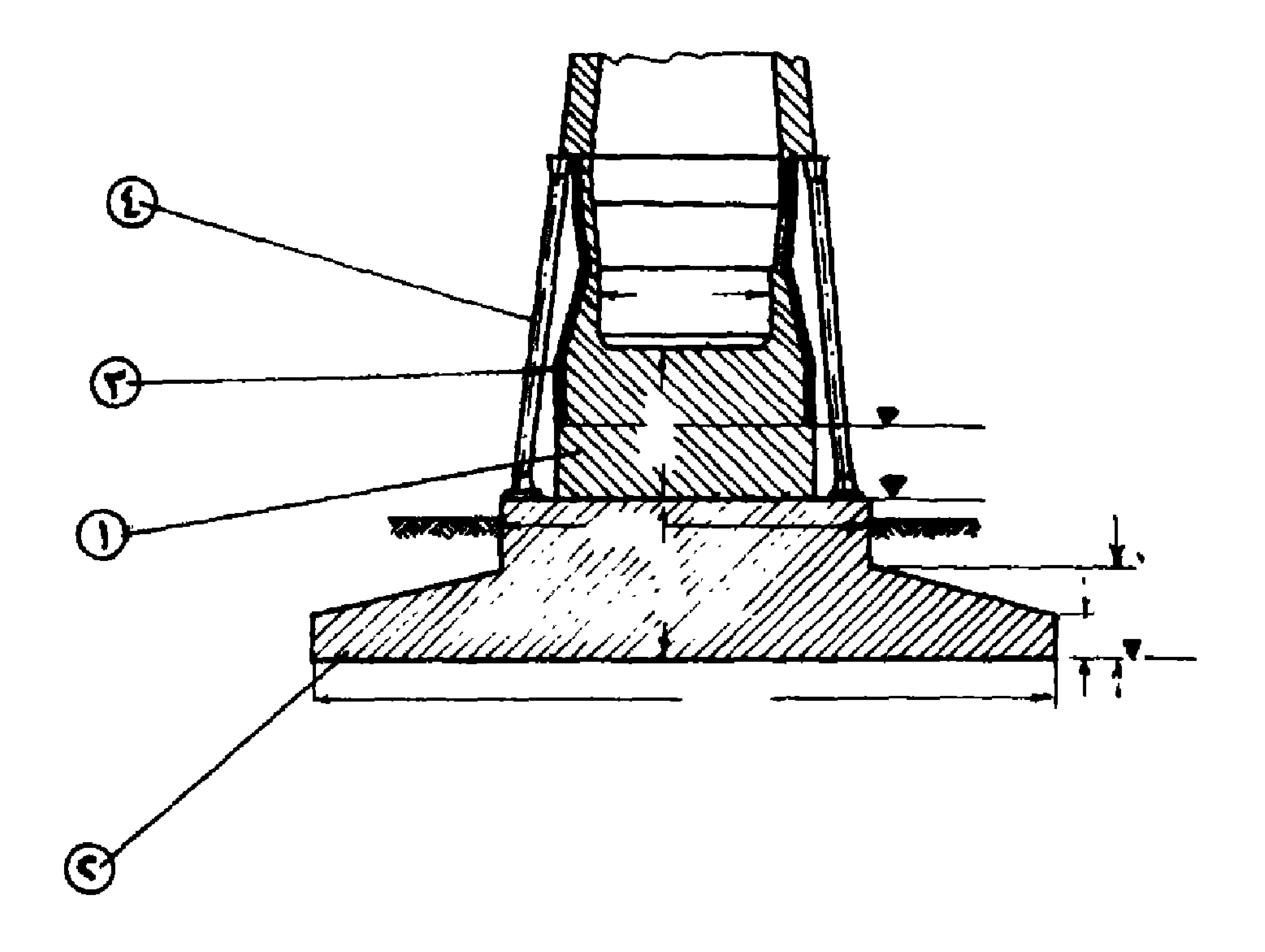
الخبث ، و ٨٠ كجم من تراب الغازات ، وعليه ، نجد أن الفرن سعة ٢٠٠٠ طن يومياً (متوسط سعة الأفران حالياً) يتعامل مع ٤٠٠٠ طن من الخام و ١٤٠٠ طن من الحجر الجيرى ، و ٢٠٠٠ طن من الفحم ، و ٦ ملايين متر مكعب من الهواء . وينتج ٩ ملايين متر مكعب من الغازات ، و ٢٠٠٠ طن من المعدن ، و ١٤٠٠ طن من الخبث ، و ١٦٠ طناً من تراب الغازات . ولما كان متوسط استهلاك المياه لكل طن واحد من الحديد المنتج يعادل ٦٠٠٠ جالون ، نجد أن كمية المياه اللازمة يومياً تعادل ١٢ مليون جالون من الماء ، وهى تعادل استهلاك مدينة سكنية كبيرة .

وبجانب كل ذلك فإن بقية الوحدات المساعدة للفرن ، كأحواش تشوين الخامات ، وعنابر معالجة الخبث ، ومسخنات الهواء ، وصالات الصب الإضافية ، ووحدات نفخ الهواء ، والورش الميكانيكية والكهربائية ، والمخازن اللازمة ، تشكل احتياجات كبيرة فى المكان ، وتحتاج الى مساحات شاسعة ، مع حتمية توافر الترابط الداخلى فيا بينها .
(شكل ٩)

ولقد مر الفرن العالى بشكله الحالى المعروف لنا ـ بمراحل متعددة ، تطور خلالها ، وتعرض كل مقاس به الى التغيير نتيجة للعديد من التجارب والأبحاث ، حتى وصل الى شكله الحالى ، بارتفاع يصل ٣٠ - ٣٥ متراً ، يتكون من مناطق عديدة ، أجرى تقسيمه إليها واتخذت كل منها شكلها الهندسى الفريد لتتلائم مع التغيرات الفيزيقية والكيميائية التى تتعرض لها الشحنة فى كل منها . وتتوالى هذه المناطق ، من أسفل الفرن حيث القاعدة الضخمة التى يرسو عليها إلى أعلاه حيث تخرج الغازات ، وحيث تشحن المشحونات ، حسب الترتيب التالى :

١ ـ القاعدة والأساسات .
٢ ـ بودقة الصهر .
٣ ـ المخروط السفلى .
٤ ـ الأسطوانة أو البرميل .
٥ ـ المخروط العلوى .
٦ ـ الحلق أو الزور .
٧ ـ قمة الفرن .

وفيا يلى وصف مبسط لكل منها :



الشكل ١٠ ـ قاعدة الفرن العالى

١ ـ قاعدة الفرن : (الشكل ١٠) :

تحمّل قاعدة الفرن (الأساسات) بأحمال ضخمة تحت ظروف التشغيل وما يستتبعها من ارتفاع فى درجات الحرارة ، وخاصة فى السنوات الأخيرة من عمر البطانة الحرارية بمنطقة الصهر عندما يقترب الحديد السائل المحترق لأماكن تآكل هذه البطانة ، من الأساسات . ويصل مجموع هذه الأحمال فى الأفران الحديثة الى مايزيد على ٢٥٠٠٠ طن وحيث أن أى هبوط فى أحد جوانب هذه القاعدة ، يعرض الفرن وجسر الشحن وتوصيلات الغازات إلى مخاطر جسيمة ، لذلك يلزم أن تكون الأساسات قوية التحمل ، تحت كل هذه الظروف . ولهذا فعند إنشاء فرن عالٍ جديد ، يبدأ فى اختبارات تحمل الأرض ويراعى ألا يقل تحملها عن ١٠ كجم لكل سم٢ مربع . ثم تصب مجموعات من الخوازيق ، يصل تعدادها إلى ٣٠٠ ، تعلوها قاعدة من الخرسانة القوية التسليح الشكل (١٠) ، من الأسمنت المقاوم للحرارة ، بقطر ٢٠ إلى ٢٥ متراً ، وبارتفاع ٥ إلى ٧ أمتار . وهذه القاعدة يبنى عليها الطوب الحرارى الذى يعلوها فى طبقات يصل ارتفاعها إلى ٥ أو ٦ أمتار ،وترص قوالب الطوب بحيث تتعارض أماكن التحامها ، حتى يصبح كل منها سداً أمام أى حديد سائل قد يتسرب من الطبقات التى تعلوها .

ونظراً إلى ماتتعرض له هذه الطبقات من درجات الحرارة العالية ، خاصة فى نهاية عمر البطانة الحرارية بمنطقة الصهر ـ كما ذكر آنفاً ـ فإن العديد من مصانع الحديد فى العالم يلجأ الى تبريدها صناعياً ، عن طريق نفخ هواء بارد فى مواسير خاصة مصممة لهذا الغرض ، وأحياناً تستبدل بهذه مواسير تحمل المياه . وبالإضافة إلى ذلك تقاس درجة حرارة البطانة فى أماكن متفارقة ، وتتابع ، لمعرفة التغيرات التى تطرأ عليها . كما تستخدم المواد المشعة لنفس الغرض ، بحيث أنه إذا تآكل الجسم المشع ، وبالتالى توقف عن الإشعاع ، يعتبر ذلك دليلاً على تآكل البطانة إلى المسافة التى وضع بها وبهذا يمكن متابعة تآكل البطانة انظر شكل .

٢ ـ بودقة الصهر :

وهو المكان الذى يتجمع فيه الحديد والخبث المنصهران ، ويعتبر أهم جزء بالفرن العالى . وتوجد به فتحة صب الحديد ، وفتحة الخبث ، وفتحات نفخ الهواء اللافح ، وهو فى شكله العام أسطوانة يبلغ قطرها من ٥ إلى ١٤ متراً ، وارتفاعها ٣ ـ ٤ امتار ،

يبطنها أجود أنواع الطوب الحراري أو الكربوني ، الذي يميل عن الرأس في اتجاه صاج الفرن كلما بعدنا عن فتحة الحديد ، وذلك حتى تتمكن جوانب البودقة من مقاومة قوى الضغط للمعدن والخبث السائلين . وتغلف هذه البطانةألواح من الصاج السميك (٦٠ مم) مكونة الشكل الخارجي للبودقة . وأبعاد هذا الجزء من الفرن ، هي التي تحدد إنتاجه اليومي .

وتتميز الأفران الحديثة عموماً بكبر أبعاد قطر بودقة الصهر فيها ، التي لم يتغير ارتفاعها كثيراً حيث أن قيمته تحددها الاحتياجات الحرارية اللازمة لحفظ الخبث والحديد في درجات الحرارة اللازمة لسيولتها ، وبالتالي فإنها تحدد أبعاد فتحات خروجها من مستوى أعلى درجات الحرارة بالفرن وهو مستوى الودنات (فتحات نفخ الهواء اللافح) .

ويتدرج سمك الطوب المبطن لجوانب البودقة من ١,٥ متر بأسفلها ، إلى متر واحد عند أعلاها ، بزاوية ميل ٤٥ درجة مئوية الى الخارج . وفي حالة استخدام الطوب الكربوني ، يتراوح سمك القاعدة مابين ١,٥ الى ٢,٥ متراً . وقد تأخذ مباني الجوانب في أسفلها شكلا بارزاً (حوالي ٥ إلى ٦ صفوف من الطوب الحراري تميل بزاوية ٣٠ درجة مئوية تعلو القاعدة مباشرة) ، كما قد تبنى القاعدة أحياناً بشكل قوس مقعر ، وذلك للتغلب على الظاهرةالمعروفة باسم « طفو الطوب الحراري » . وهذه الظاهرة تحدث نتيجة لضغط المعدن السائل على الطوب الحراري ، الأمر الذي ينجم عنه تخلخل الطوب وطفوه على سطح المعدن (خاصة الطوب الكربوني) ، غير أن هذا الاتجاه قل حديثاً .

وتنبع الخطورة التي تشكلها بودقة الصهر على الأفران العالية وعلى العاملين بها ، من احتمال حدوث الظاهرة المعروفة باسم « تصدع بودقة الصهر » وهي اختراق الحديد لمباني بودقة الصهر والصاج المغلف لها ـ سنتعرض لذلك فيما بعد ـ والتي يحتاج إصلاحها الى وقت طويل وجهد شاق يقلل من إنتاج الفرن ويتكلف الكثير .

ولا تعتبر تلك الظاهرة هي منبع الخطورة الوحيد بالمنطقة . فهناك العواقب الخطيرة التي تنجم عن تسرب المياه من مبردات فتحات نفخ الهواء ، أو الخبث ، أو مبردات الطوب الحراري للمنطقة ، والتي قد ينجم عنها الظاهرة المسماه « تجمد بودقة الصهر » التي تتلخص في تجمد المصهور من الخبث والمعدن وعدم خروجها من الفرن ، وما يستلزمه ذلك من توقف الفرن للإصلاح . ولقد تسببت هذه الظاهرة في توقف العديد من الأفران العالية نهائياً عن العمل ، في مصانع عديدة .

ولتبريد بطانة بودقة الصهر طرق تختلف من تصميم إلى آخر غير أنه يمكن حصر أهمها في الطريقتين التاليتين :

الأولى : باستخدام تبريد خارجي للصاج المغلف ، وذلك باستخدام أدشاش مياه خاصة .

الثانية : باستخدام المبردات ذات التصميم الخاص ، والتي توضع في داخل الطوب .

وتتجمع مياه تبريد الفرن في أسفله ، وتوجه عن طريق مجار خاصة لتصب في بيارة مجمعة ، مغطاة بشبكة من الأسياخ ، تحجز فوقها أي أجسام كبيرة ومنها إلى شبكة مياه راجع التشغيل للمصانع . ويستخدم عادة في الأفران الصغيرة ، الزنك في أول المجرى ، حيث يوضع كوسيلة لتأمين شبكة مياه راجع المصانع في حالات سقوط أي حديد سائل في بدروم الفرن ، عند انهيار بودقة الصهر مثلاً . حيث يتسبب الحديد المتساقط في تآكل الزنك ، وبالتالي فإنه يسقط في صالة الصب الخاصة بجانب الفرن ولا يتسرب إلى شبكة مياه المصانع .

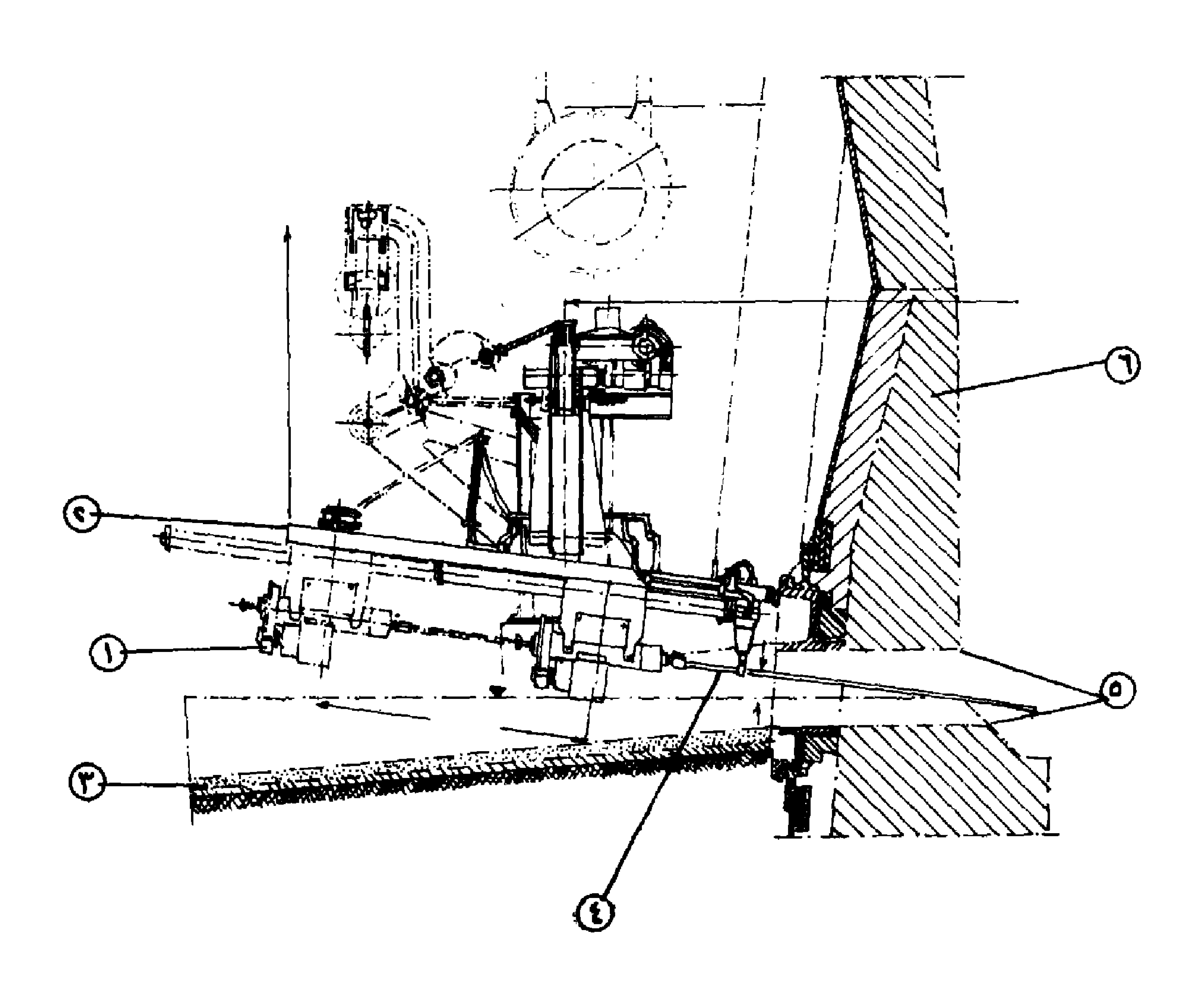
وتزود بودقة الصهر بمجموعات من الإزدواجات الحرارية ، توضع على أقطار متباينة ، وبأعماق مختلفة داخل الطوب الحراري . ويمكن عن طريق متابعة قراءتها الحكم على معدل وسرعة تآكل البطانة المغلفة . وبالتالي فهي تمكن من الحكم على حالة البودقة والتوقعات المنتظرة قبل حدوثها بوقت كاف . وقد تستخدم النظائر المشعة لنفس الغرض .

فتحة الحديد :

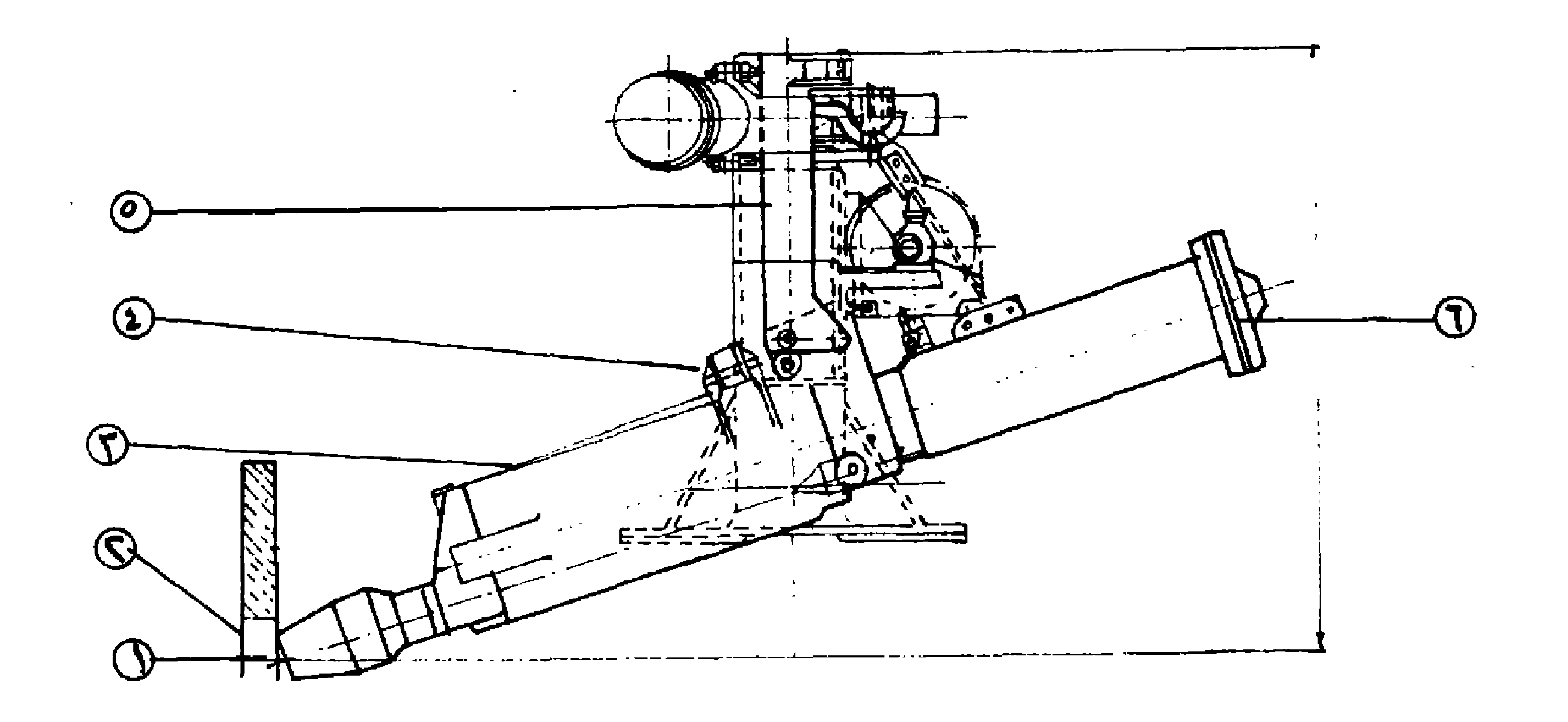
توجد في أحد جوانب بودقة الصهر منطقة أبعادها حوالي ٩٠ × ٦٠ سم تترك بدون تغليف بالصاج ، يبطن الفرن فيها بطوب الشاموت الحراري . وتوجد في منتصف هذه المنطقة ، وعلى ارتفاع حوالي ٢٠ سم عن قاع الفرن ، فتحة بقطر من ١٠ إلى ٢٥سم ، تخترق الطوب الحراري إلى داخل الفرن . وهذه الفتحة هي الموضع الذي ينساب منه المعدن وبعض الخبث عند صب الفرن وتسمى « فتحة الحديد » وهي تغلق عادة بطينة حرارية ذات مواصفات خاصة تدفع بداخل الفرن خلال مكنة « غلق الفرن » (المدفع) ، انظر الشكل (١١ ا ، ب) ، ويعاد فتحها مرة أخرى كلما حان موعد صب الفرن .

والأسلوب الفني للمحافظة على سلامة هذه الفتحة متماسكة وبطول محدود (يساوي ١,٨ م للأفران ذوات الأقطار الأكبر من ٥ أمتار ، وحوالي ١,٥ م للأفران ذوات الأقطار الأقل من ٥أمتار) يعتبر من أهم واجبات العاملين بالفرن . ويشكل الإتصال بين فتحة

الحديد وداخل الفرن بطوب شاموت محفور فى أحد جوانبه بحيث تشكل كل ٤ قوالب منهـا عند وضعها بعضها فوق وبجوار بعض ، فتحة مستديرة يميل محـورها على الأفق بزاوية ميل قدرها ١٥ درجة مئوية الى ٢٥° تقـريباً (حسـب عمر بطانة بودقة الصـهر) ، وذلك حـتى



شـــكل ١١ م - مكنة الفتح الكهربائية



شكل رقم ١١ ب – مكنة إغلاق فتحة الحديد

يمكن بسهولة ضبط ميل « مكنة الفتح » التى تستخدم فى فتح الفرن ، ولسلامة الفتحة يتحتم دائماً ضبط زاوية الميل لمكنة الفتح هذه بنفس المقدار فى كل مرة يفتح فيها الفرن لصبه ، وذلك حتى تظل جوانب الفتحة الى داخل الفرن متماسكة وقوية .

ويمكن بناء منطقة فتحة الحديد بالطوب الكربونى ، حتى تتجانس البطانة الداخلية لبودقة الصهر فى كل أجزائها ، غير أن ذلك يتطلب تبريداً خاصاً لهذا الطوب ، وكثيرا ما تتعرض المبردات المستخدمة لأضرار نتيجة الحرارة التى تتعرض لها عند صب الحديد والخبث ، خاصة وأن عملية الصب متكررة . هذا بالإضافة إلى الأثر السىء للأبخرة الناتجة ، عند ارتفاع درجة حرارة الخلطة المستخدمة فى إغلاق الفرن ، والتى تحوى نسبة من المياه ، على الطوب الكربونى المغلف ، ولهذا كله يفضل أن تبنى المنطقة بطوب حرارى ، يحوى نسبة عالية من الألومينا .

وتوجد بالفرن عادة فتحة واحدة للحديد ، إلا أن بعض الأفران الحديثة كبيرة الإنتاج (من ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ طن يومياً) تزود بفتحتين (لكل منهما صالة صب منفصلة مقابلة لها) ، بينهما زاوية مقدارها ١٨٠ درجة . ويفتح الفرن من أحداهما ثم يغلق ليفتح مباشرة من الناحية الأخرى ، وهكذا . وقد يصل العدد إلى ثلاث فتحات فى بعض الأفران . وقد تولدت فكرة زيادة عدد فتحات الحديد للفرن الواحد ، نتيجة لعدم إمكان زيادة حجم بودقة الصهر ، بالقدر الذى يسمح بتخزين كمية الحديد الناتج خلال الفترة مابين كل صبة وأخرى ، وأيضاً لإتاحة الفرصة لإتمام أعمال تجهيز صالة الفرن للصب عليها .

فتحة الخبث :

يلزم الاحتفاظ بالحجم الأكبر من بودقة الصهر مخصصاً للحديد السائل ، والإقلال ما أمكن من كميات الخبث الموجودة بها ، وذلك للأسباب الآتية :

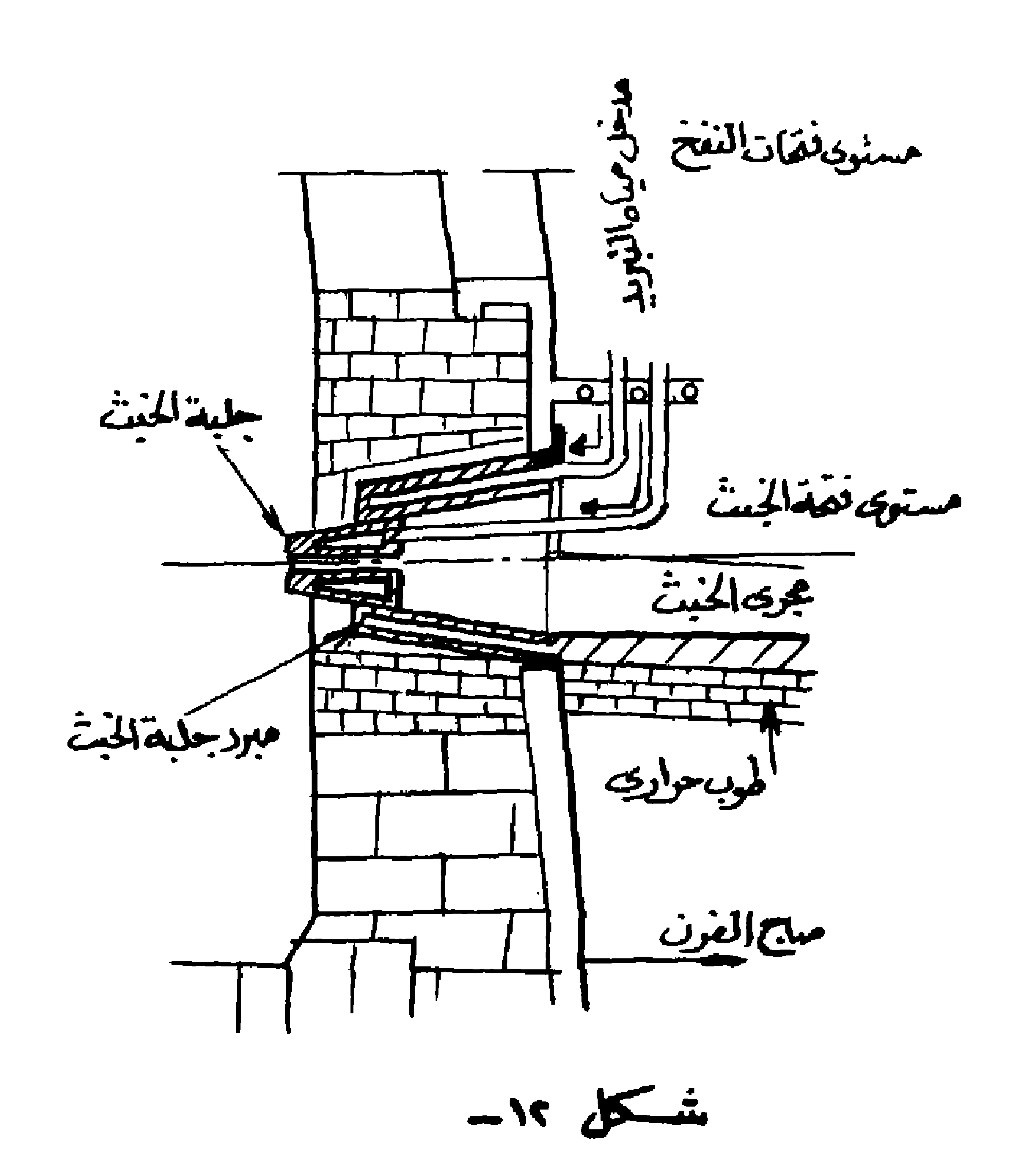
١ ـ حجم بودقة الصهر بالفرن العالى محدود نسبياً .

٢ ـ للخبث تأثير غير محبب على تماسك فتحة الحديد .

٣ ـ ضرورة تخفيض زمن الصبة الكلى ، لايفقد المعدن جزءاً كبيراً من حرارته بالبوادق .

٤ ـ تلافى ارتفاع مستوى الخبث ببودقة الصهر ووصوله إلى مستوى فتحات نفخ الهواء ، وإغلاقها والإضرار بها .

وهذه الأسباب مجتمعة تستلزم التخلص من الخبث المتكون أولاً بأول . ولهذا يجهز الفرن بفتحة خاصة يمكن عن طـريقها تفـريغ هذا الخبث ، وهي تسـمى « فتحـة الخبث » (الشكل ١٢) .



شكل ١٢ـ

ويرتفع مستوى فتحة الخبث عن مستوى فتحة الحديد بمسافة تتراوح مابين ٨٠ و ١٢٠ سم انظر الشكل (١٢) . وتبلغ المسافة أعلاها وحتى فتحات نفخ الهواء مابين ٨٠ و ١٠٠ سم . وهى عبارة عن فتحة فى جانب الفرن بزاوية ٩٠ درجة مئوية من فتحة الحديد ولها شكل مخروطى قطره داخل الفرن حوالى ٣٠ إلى ٤٠ سم ، وعند حافة الصاج المغلف لبودقة الصهر حوالى ٦٠ إلى ٧٠ سم . ونظراً لأن تلامس الخبث مع الماء لايتبعه انفجارات خطيرة كما هى الحال عند تلامس الحديد والماء ، لذلك أمكن استخدام مبردات من النحاس ، الشكل (١٢) لملء الفراغ السابق ذكره .


وهذه المبردات تسمى جلبة الخبث الكبيرة . وهى جلبة مخروطية الشكل ، ترتكز بجانبها على الطوب الحرارى المبطن لبودقة الصهر . وتغلف تماما وبعناية ، كاملة الفجوات الصغيرة بينها ، بخلطة حرارية خاصة . والجلبة يتصل سطحها الخارجى بمواسير مياه التغذية التى تدخلها من أسفل ، لتخرج من مجموعة أخرى من المواسير عند أعلاها . ويبلغ القطر الخارجى للجلبة من ٦٠ إلى ٨٠ سم ، عند صاج الفرن وقطرها الداخلى (داخل الفرن) ٣٠ إلى ٤٠ سم وبأعلى نهاية الجلبة داخل الفرن توجد فتحة قطرها ٢٠ سم ، وفى هذا المكان تركب جلبة الخبث الصغيرة والمخروطية الشكل أيضاً . ويوجد فى منتصف هذه الجلبة فتحة دائرية قطرها يصل إلى ٦سم تغلق بما يسمى الجزرة فى الأفران القديمة ، أو بقضيب مركب بكتة غلق خاصة فى الأفران الحديثة . ويمر خلالها الماء ليبردها باستمرار انظر الشكل (١٢) .

وتثبت هذه الجلب من الخارج بجسم الفرن الفولاذية بمجموعة مواسير التبريد ، لتظل فى مكانها تقاوم الضغوط الواقعة عليها من داخل الفرن .

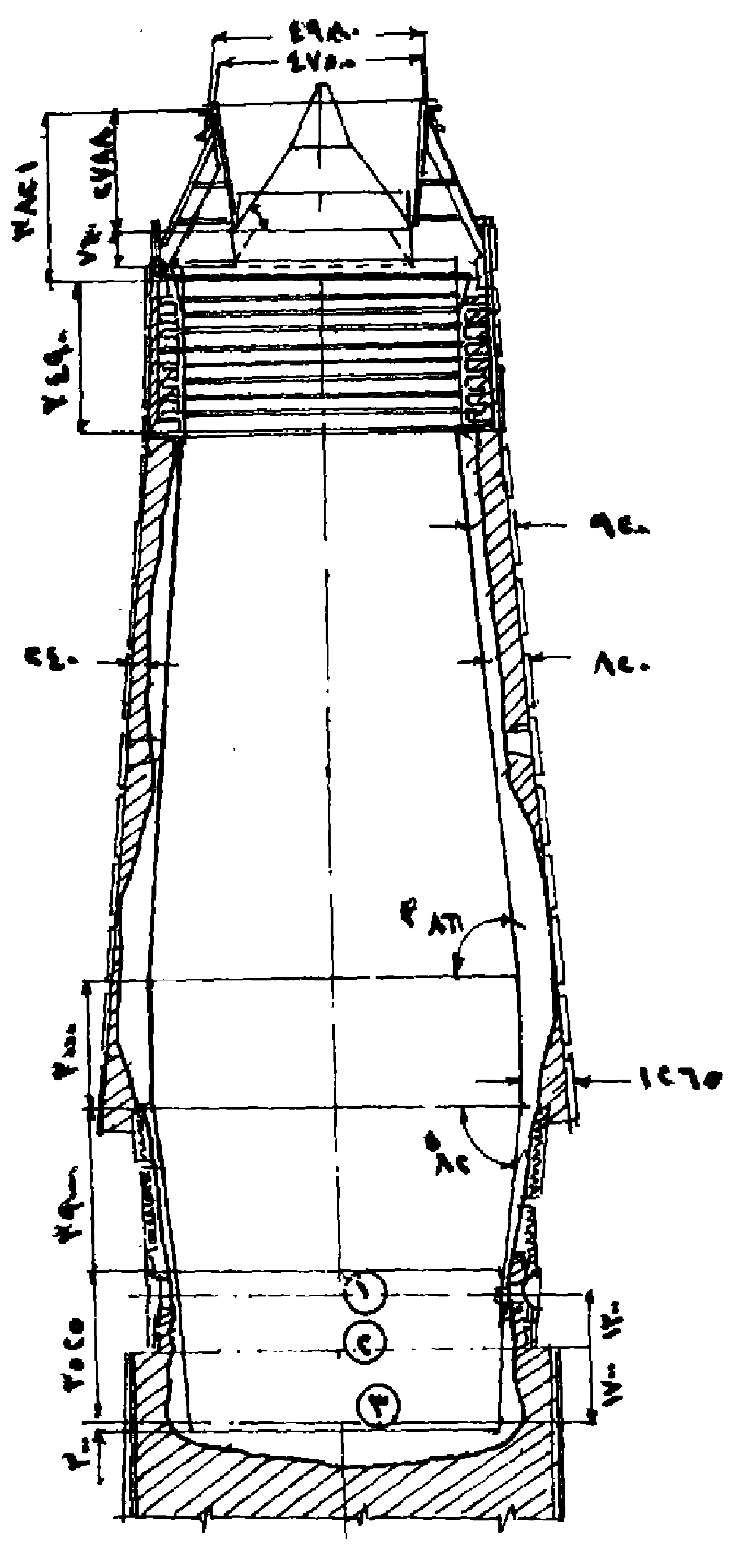
وتزود الأفران الحديثة ـ الكبيرة بفتحتى خبث توجدان فى العادة ـ على جانبى فتحة الحديد بزاوية ٤٥° ، ٩٠ درجه مئوية على التوالى ، وذلك لتسهيل الحصول على الخبث السائل بإستمرار وبالتالى تخصيص تجويف البودقة الصهر للحديد السائل ما أمكن .

جلب نفخ الهواء اللافح : (شكل ١٣)

وتسمى فى المجال الصناعى « ودنات » نفخ الهواء . وهى الطريق الذى يدخل من خلاله الهواء اللافح إلى الفرن . وتركب هذه « الودنات » فى الجزء العلوى من بودقة الصهر ، وتجهز لها فتحات خاصة فى جسم الفرن والمبانى أنظر الشكل (١٤) . ويتراوح عددها من



شكل رقم ١٣ – مكنة اغلاق فتحة الخبث



شكل رقم ١٤

(١) مستوى نفخ الهواء (تورنات)

(٣) المستوى الأصلي، على مباني قاع بوتقة الصهر

(٢) مستوى حلبة الخبث

١٠ إلى ١٨ ودنة ، (فى الأفران الحديثة يبلغ العدد٢٢ فتحة)، متناسقة التوازن على المحيط الفرن فى هذا المستوى الذى يسمى مستوى « الودنات » والذى يقع على مسافة من ٥٠ إلى ٦٠ سم من نهاية بودقة الصهر العليا .

وجلب النفخ تشبه جلب الخبث فى أنها تتكون من المبرد والودنة ، وتماثلها فى شكلها المخروطى ، ووجود القرص المفرغ . ولا تختلف عنها إلا فى أبعادها ، وفى وجود الفتحات بمنتصفها تماماً وفى عددها ، حيث يبلغ عددها فى الأفران الحديثة ثلاث جلب مركبة داخل بعضها بشكل التلسكوب . وقد أمكن بسبب هذا التصميم تخفيض وزن وحجم ودنات النفخ ، وبالتالى سهل عملية تغييرها وتركيبها ، كما أدى إلى إقلال الوقت اللازم لذلك .

ويركب المبرد ـ تحميه شفة خاصة ـ بجسم الفرن ، وفى وضع أفقى تماماً . ويغلق الحيز (إن وجد) بين المبرد وجسم الفرن بخلطة حرارية . وتركب فى التجويف الداخلى لهذه المبردات ودنة النفخ المخروطة الشكل والتى تنتهى عند حافة بطانة الفرن ، ويبلغ متوسط قطرها الداخلى من ١٠ إلى ٢٤ سم .

وتبريد هذه الودنات النحاسية ـ بالغ الأهمية . ولذلك تراقب باستمرار كميات ودرجات حرارة المياه الخارجة منها لاكتشاف أى خلل بها ، ذلك لأن أى ثقب بالمبرد يؤدى إلى برودة بودقة الصهر وربما إلى تجمدها . كما أن تسرب الماء من أى من ودنات النفخ يؤثر على كميات الحرارة الكلية بمنطقة الإشتعال . وقد يتسبب تسرب الماء فى برودة المعدن والخبث ، ومتاعب فى التشغيل . وكما يضر بخار الماء المتصاعد ببطانة الفرن ، خاصة تلك المبنية من الطوب الكربونى .

ويمكن للعين الخبيرة اكتشاف أى خلل بودنات النفخ عن طريق مراقبة داخل الفرن ، والغازات المتصاعدة ، وكذلك مشاهدة اللهب الأصفر المائل إلى الاخضرار الذى يصاحب صبات الحديد أو الخبث ، وتساعد أجهزة تحليل الغازات ، وارتفاع نسبة غاز الهيدروجين فيها عن المعدل على اكتشاف أى تسرب للمياه من المبردات أو من الودنات . ومراقبة المبردات أصعب من مراقبة الودنات نظراً لكبر كمية مياه التبريد المستخدمة بها وبالتالى الفارق الطفيف فى درجات حرارة المياه الخارجية منها والداخلية إليها . وكذلك لعدم إمكان رؤيتها من خلال فتحة النظارة بكوع الودنات . وسوف نتعرض لذلك تفصيلياً فى الباب الخاص بمراقبة تشغيل الأفران .

وتشكل جوانب نهاية السطح الخارجى لفتحة الودنة بشكل منحنى، يسمح بتركيب نهاية «ماسورة النفخ» التى تتصل نهايتها الأخرى بمجموعة من التوصيلات، يمر هواء النفخ اللافح من خلالها إلى ماسورة النفخ فالودنة، إلى داخل الفرن.

ويتوقف وقت التشغيل لهذه الودنات على حالة الفرن، وعمر البطانة وظروف التشغيل. ويتراوح مابين شهر وشهرين، ولكن قد يصل أحياناً إلى ١٢ شهراً.

مجموعة توصيلات النفخ:

ترفع درجة حرارة الهواء الجوى بوحدة المسخنات الى درجات عالية تبلغ حالياً ١٢٠٠ درجة مئوية ويصل هذا الهواء الساخن، المسمى الهواء اللافح، خلال مواسير مبطنة بالطوب الحرارى الى ماسورة الهواء الساخن، التى تحيط بالفرن وتوجد عند مستوى منتصف المخروط السفلى تقريباً. وهذه الماسورة يبلغ قطرها من ٨٠ إلى ١٥٠ سم، وهى مجهزة بفتحة مقابلة لكل فتحة من فتحات نفخ الهواء، مركب عليها فلنشة تتصل بكوع من الحديد الهياتيتى أو الصلب، مبطن بماصة حرارية يسمى «الكوع الصغير» ينتهى فى ناحيته الأخرى بفلنشتين منقوبتين توصلان طرفه الآخر «لنهاية الكوع الكبير» المصبوب من الحديد الهياتيتى، والذى يستقيم فى نهاية طرفه الثانى وينتهى (بسلوب) يسمح بالدخول فى المكان المحدد له فى نهاية ماسورة النفخ، وهذا الكوع مبطن بمادة حرارية أيضاً وتوجد فى نهاية الجزء المستقيم منه فتحة محورها امتداد لمحور ماسورة النفخ الأفقى ويغلق هذه الفتحة باب منزلق به فتحة تستخدم لإدخال سيخ من الصلب لتسليك الودنات المغلقة، هذه والفتحة مغطاة بما يسمى «النظارة» بها فتحة أصغر تغطى بالميكا الملونة، تسمح بالنظر خلال الكوع وماسورة النفخ والدنية إلى داخل الفرن، وبالتالى تتمكن من مراقبة سير العمليات بداخل الفرن فى منطقة مستوى الودنات، الأمر الذى يمكن العين الخبيرة من الحكم على حالة الفرن وبودقة الصهر عامة.

وهذا التصميم يسمح بتمدد أجزاء مجموعة توصيلات الهواء اللافح، دون السماح بتهريبه نتيجة تثبيت كل جزء منها فى المكان المحدد له بنهاية الآخر. كما أن التجويف يسمح لها بالحركة كوحدة متكاملة وهكذا تتمكن مجموعة التوصيلات هذه من مقاومة الضغط إلى الخارج الذى يسببه زيادة الضغط داخل الفرن.

ويوجد فى أسفل الكوع الكبير مكان يركب به شداد مثبت فى جسم الفرن، يمكن عن

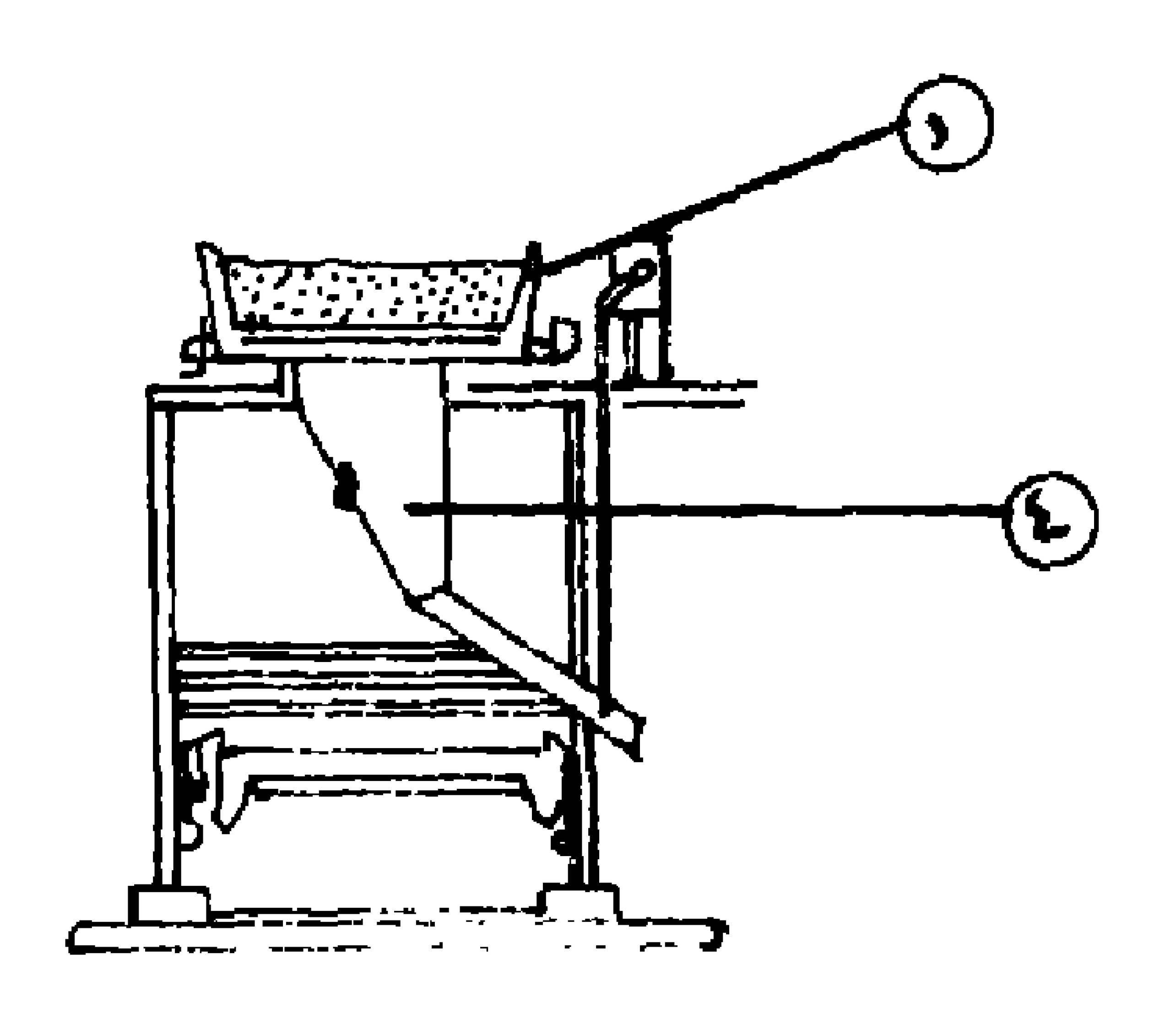
طريقه زيادة تثبيت المجموعة فى مكانها وصمودها ضد الضغط الواقع من داخل الفرن.

٣ ـ المخروط السفلى :

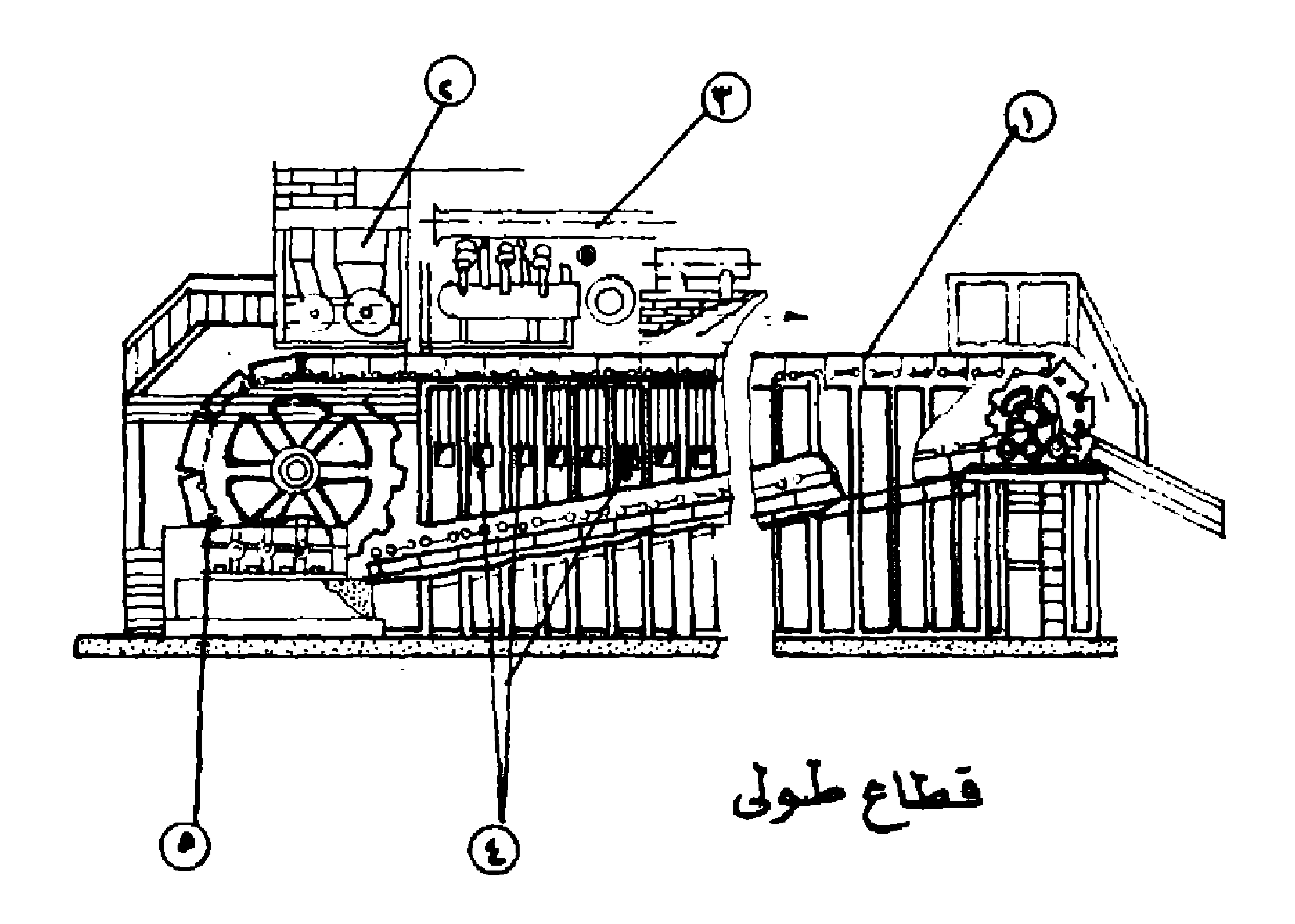
هو منطقة الفرن المحصورة بين بودقة الصهر والجزء الأسطوانى من الفرن. وهذا الجزء يتعرض لدرجات الحرارة العالية الناجمة من احتراق الكوك أمام الودنات. ولهذا تعتبر هذه المنطقة، أصعب مناطق الفرن من حيث التصميم، حيث تحتم ظروف العمليات الميتالوجية التى تتم فيها ضرورة توافر مقاومة كبيرة للحرارة العالية بالإضافة إلى مقاومة القوى الناجمة من الإحتكاك بالمنصهرات الهابطة كما أن عليها أن تقاوم أيضاً تأثير الخبث والحديد. وبسبب انصهار جميع مكونات شحنة الفرن فى المستويات التى تعلو هذه المنطقة، وما يصاحب ذلك من نقص فى حجمها، فلقد اكتسبت هذه المنطقة الشكل المخروطى المميز لها (بقاعدته المتسعة إلى أعلى) حتى تنزلق المنصهرات هذه بسهولة على جوانبه المائلة إلى داخل الفرن. ويحدد ميل هذه الجوانب اعتبارات عديدة، تتمثل فى نوع الخام المستخدم، وحجم الفرن، وارتفاعه الكلى. لذلك تعتبر زاوية ميل هذه الجوانب من أهم أبعاد الفرن، حيث أنها تتحكم فى كيفية هبوط الشحنة بالمناطق التى تعلوها.

ويبطن المخروط السفلى بالطوب الحرارى العالى الألومينا أو بالطوب الكربونى، بسمك ثابت. وفى الأفران الحديثة يجرى تبريد مبانى المنطقة هذه باستخدام صناديق تبريد رأسية أو أفقية توضع داخل البطانة. وهذه الصناديق تغذى بعضها بعضاً فى مجموعات متناسقة بمياه التبريد. أما فى حالة استخدام الطوب الكربونى فيتم التبريد عن طريق رشاشات المياه التى تسقط كميات كبيرة من المياه على سطح الصاج الخارجى المغلف للمبانى ويبلغ سمك البطانة فى هذه المنطقة من ٨٠ إلى ١٠٠ سم، ويغلفها صاج الفرن الذى يبلغ سمكه من ٤٠ إلى ٦٠ سم.

وفى الأفران المصممة وفقاً للنظام الأمريكى (أنظر الشكل ١٥ب) يحيط بالفرن، فى مستوى سطح نهاية المخروط من أعلى، هيكل معدنى من الصاج والزوايا والكمر القوى المتماسك يسمى الحزام. وهو يحمل كل مبانى المخروط العلوى، وهياكل الأدوار، وجسر الشحن ، وقمة الفرن. ويرتكز على مجموعة من الأعمدة المتينة (يعادل عددها نصف عدد الودنات المستخدمة) ترتكز بدورها فى نهايتها على قاعدة الفرن الأساسية. وفائدة هذا النظام أنه يقسم الفرن الى جزئين منفصلين عن بعضهما بعضاً تماما فى التحميل، هما



قطاع عرضى



قطاع طولى

الشكل ١٠ - مكنة التلبيد

المخروط السفلى وبودقة الصهر كوحدة وباقى الفرن كوحدة أخرى . وبذلك يمكن إجراء العمرات والإصلاحات بالجزء الأول دون حاجة بالمرة إلى المساس بمبانى الجزء الثانى وهو اتجاه يفضله العاملون بالأفران العالية .

٤ ـ الجزء الأسطوانى ـ البرميل :

وهو الجزء الذى يصل مابين المخروط العلوى والمخروط السفلى ، ويتكون من أسطوانة ملتفة من الصاج ، ويبلغ ارتفاعها مابين ١,٥ إلى ٢,٥ متر . وقطرها هو أكبر قطر فى الفرن العالى ، ويتراوح مابين ٦ و ١٨ مترا حسب حجم الفرن وزاوية ميل وارتفاع المخروط السفلى . . .

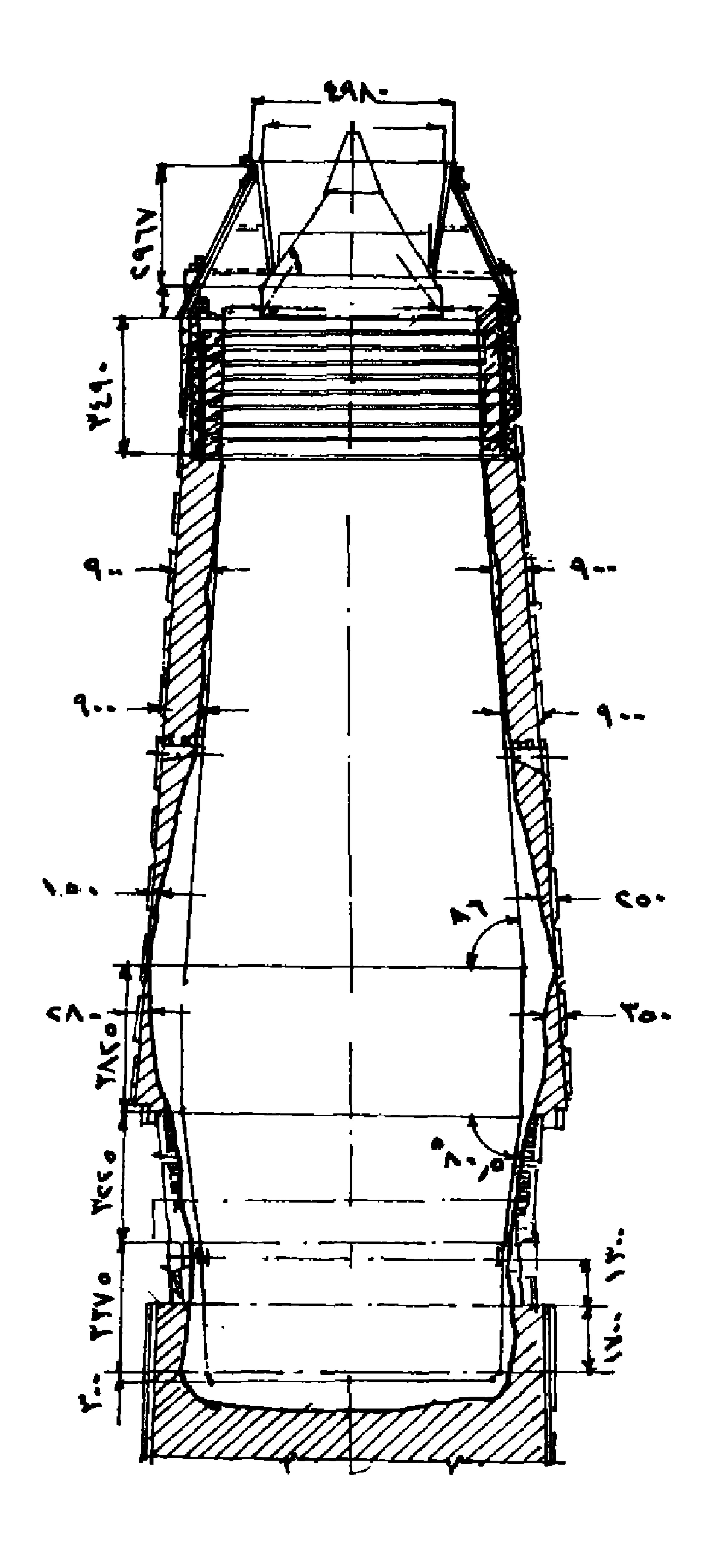
وقديماً كانت هذه المنطقة غير موجودة بالفرن ، حيث كان المخروط العلوى ينتهى ببداية المخروط السفلى مباشرة . غير أن التجارب أثبتت أن هذه التحول المفاجىء ، يؤثر تأثيراً مباشراً على كيفية هبوط الشحنة بالفرن . كما ثبت من نتائج الاختبارات العديدة على البروفيل النهائى لبطانة الفرن عند انتهاء عمرها ، أن البطانة تتآكل بصورة كبيرة بحيث يصل شكل الجزء عند نقطة التقاء المخروطين فى النهاية إلى هذا الشكل الأسطوانى . (شكل ١٦)

وسواء كان مستواه أعلى من هذه النقطة أم عندها (أثبت بعض التجارب وجوده فى منطقة أعلى من نقطة الإلتقاء هذه) ، (شكل ١٦) إلا أن هذه الأسباب جميعها دفعت المصممين فى السنوات الأخيرة إلى الأخذ بها ، وأصبحت منطقة الأسطوانة جزءاً من الأفران الحديثة .

٥ ـ المخروط العلوى :

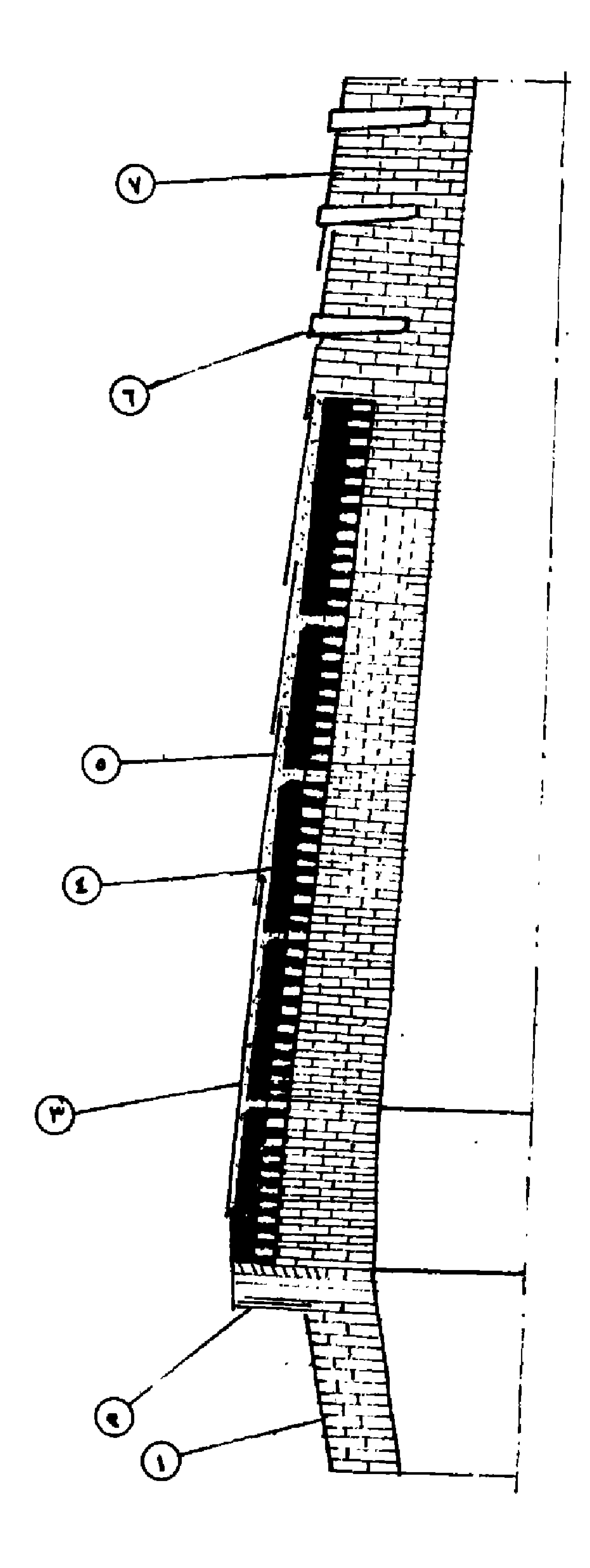
هو الجزء المحصور بين الأسطوانة وحلق الفرن ، وهو أكبر أجزاء الفرن حجما ، حيث يبلغ تقريباً نصف حجم الفرن الكلى أو أكثر وتتعرض شحنة الفرن خلال هبوطها فى هذا الجزء لتغيرات فيزيقية وكيميائية نظراً للتباين الكبير فى درجات الحرارة بين أعلى المخروط وأسفله من أهمها :

١ ـ زيادة حجم المشحونات بسبب تمددها نتيجة لتحلل غاز أول أكسيد الكربون وتأثير عليها .



شكل ١٦ - تآكل بطانة الفرن العالى ومعدلاتها بمناطقه المختلفة

(يلاحظ التآكل بمنطقة الرمل بأسفل المخروط العلوى وجوانب وقاع بوتقة الصهر)



شكل ١٧ - المخروط العلوى ومبردات المبطانة

٢ ـ التغيرات التى تحدث بسبب التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى . لذلك اكتسب هذا الجزء من الفرن شكله المخروطى المتزايد الاتساع فى اتجاه هبوط الشحنة .

ولقد أدى التباين الكبير فى درجات الحرارة فى المستويات المختلفة للمخروط العلوى إلى امكان اعتباره مكوناً من ثلاث مناطق متساوية الارتفاع هى العلوية والمتوسطة ، والسفلى . وتتم فى المنطقة السفلى معظم التفاعلات ، حيث تبدأ الشحنة ـ عند نهايتها ـ فى الإنصهار . وهذا التقسيم تتبعه تغيرات فى نوعية الطوب الحرارى المستخدم فى البطانة حتى يفى بالمتطلبات التى تستلزمها طبيعة العمليات الميتالورجية التى تتعرض لها الشحنة فى كل منها . وقد استتبع ذلك تغيرات فى نوعية وسمك البطانة الحرارية ـ حيث يتراوح مابين ١٢٠ سم فى المنطقة السفلى و٦٠ سم فى المنطقة العلوية ـ وتجرى عملية تبريد الطوب الحرارى المستخدم بواسطة المبردات التى ترص فى صفوف أفقية متتابعة بنفس تنظيمات المخروط السفلى (التى توضع داخل طوب البطانة) أو باستخدام صناديق التبريد الأفقية والرأسية . (الشكل ١٧) وتغلف البطانة بصاج سمكه من ٢٠ إلى ٣٠ مم على هيئة ألواح ملحومة حيث ثبت أن اللحام يزيد من تماسكها ومتانتها ، كما أنه أخف وزناً بالمقارنة مع الألواح المربوطة بمسامير والتى كانت تستخدم قديماً .

٦ ـ الحلق أو الزور :

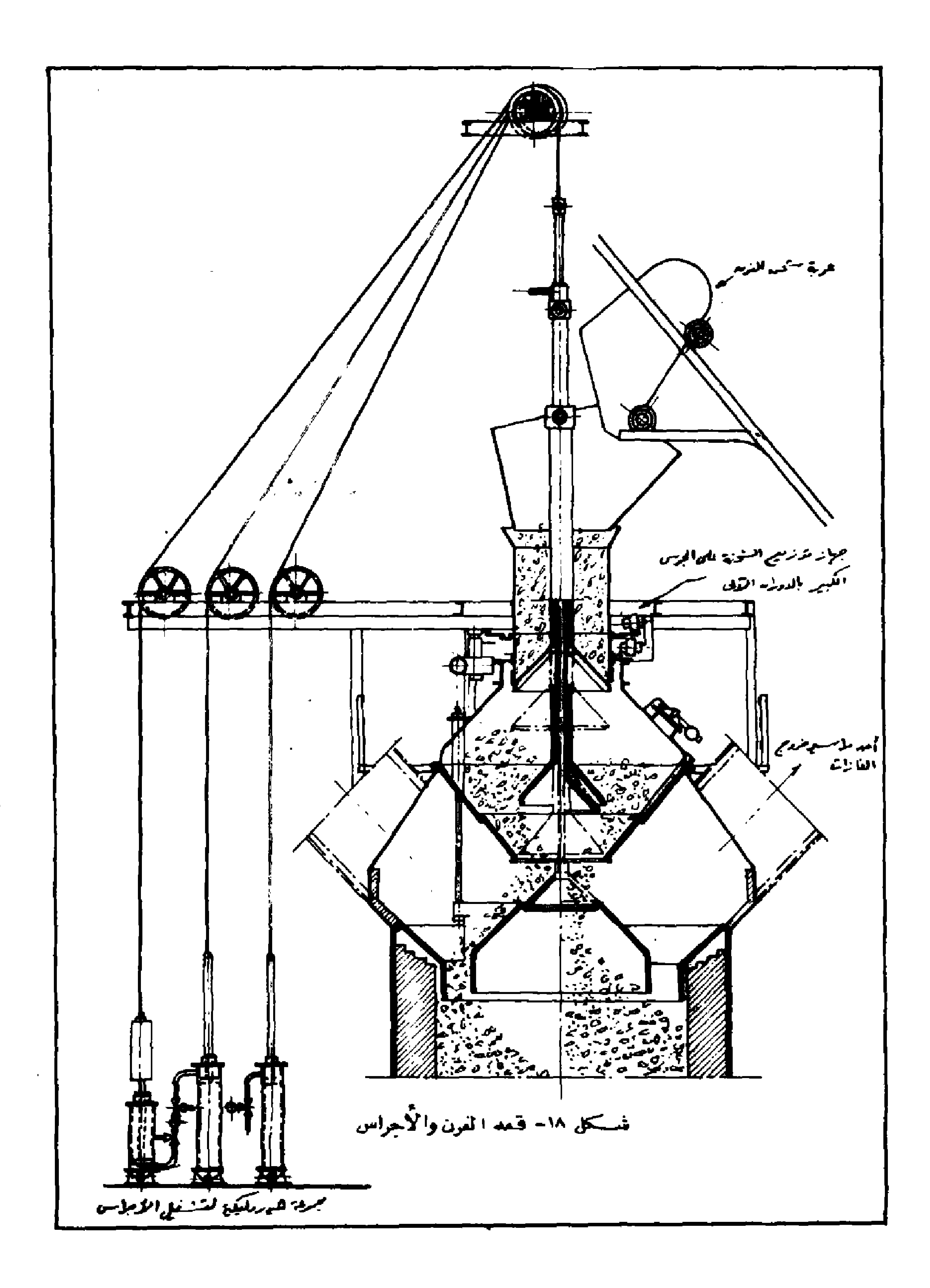
هو أعلى جزء من المخروط العلوى وترتطم بجوانبه المشحونات عند هبوطها من على الجرس الكبير إلى داخل الفرن . وكان هذا الجزء يبنى قديماً بالطوب الحرارى المغلف من داخل الفرن بصاج سميك ، يقاوم إحتكاك المشحونات بجدار الفرن . ثم استخدمت صدامة من ألواح صاج ملحومة بشكل أسطوانة ارتفاعها ٣ - ٤ أمتار وبقطر أقل من قطر المخروط فى هذه المنطقة بحوالى ٣٠ سم ، وهى تعلق داخل الفرن فى مستوى أقل من مستوى فتحة الجرس الكبير بحيث ترتطم بها المشحونات عند هبوطها . ونظراً لتأثير ذلك على توزيع شحنة الفرن ، وسطحها ، وبالتالى على تشغيل الفرن ، بالإضافة الى ماتتطلبه إصلاحاتها الكثيرة من متاعب ، فقد استبدل بها حالياً ما يسمى بنظام التسليح أعلى الفرن . وفيه يبنى الجزء العلوى من المخروط العلوى ، على بعد حوالى ٣ - ٤ أمتار من أعلى الفرن ، بمجموعة من كتل الصلب عالى المنجنيز المصبوبة بسمك يبلغ ٦٠ إلى ٨٠ سم وبارتفاع يبلغ ١٥٠ إلى ٢٠٠ متر . وقد يمتد عمرها بطول فترة تشغيل البطانة ولا تحتاج

بطول فترة تشغيل البطانة ولا تحتاج إلى إصلاحات . ويجب عند تركيبهـا أن تكون فى مجموعة مكونة بشكل أسطوانى متمركز مع محور الفرن تماماً .

٧ ـ قمة الفرن العالى :

يحوى غاز الأفران العالية نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون الخانق القابل للاشتعال ، لذلك تجب المحافظة عليه ومعاملته بالاحتياطات البالغة ، لتأمين سلامة العاملين من الاختناق أو من الإنفجارات التى تتبع اشتعال هذا الغاز فجأة عندما تتهيأ الظروف لذلك . يمثل الغاز مصدرا رئيسيا من مصادر الطاقة اللازمة لتشغيل مصانع الحديد والصلب ، لذلك يلزم الحفاظ عليه وتخزينه لحين استهلاكه بالأمان الكافى ، ولهذين السببين ، كان من الضرورى التفكير فى تجميعه فى مسارات خاصة يمكن الهيمنة عليها كلية ، ولقد بدأ التفكير منذ زمن بعيد ، فى إغلاق فتحة الفرن العليا فى غير أوقات الشحن ، وتجهيز الفرن فى أعلاه بمجموعة من المواسير التى تركب فى مستوى أقل من مستوى فتحة الجرس الكبير ، لتكون مساراً للغازات حتى مكان استخدامه . ومع استمرار التعديلات والتقدم التكنولوجى أمكن الوصول إلى الشكل الحالى لقمة الفرن ، (الشكل ١٨) .

ويأخذ شكل الصاج المغلف للمخروط العلوى عند نهايته العليا فى الاتساع ، ثم الضيق ، مكوناً جوانب مخروطين ناقصين متلاحمين بقاعدتيهما الكبيرتين فى مستوى أعلى قليلا من مستوى الجرس الكبير فى حالة الإغلاق ، وحيث قطر قاعدة المخروط السفلى الصغيرة ، تعادل قطر الفرن فى نطقة الحلق ، وقاعدة المخروط العلوى الصغرى تكون فتحة الفرن العليا وهى بقطر أصغر من قطر الحلق ، تكون هذه قاعدة تركب عليها بقية أجهزة الشحن ، الأمر الذى سبب الإقلال من تسرب الغاز إلى الجو . وتوجد بجوانب المخروط العلوى أربع فتحات تسمى « المآخذ » ، تتصل بأربع مواسير رأسية تتجمع كل إثنتين منها فى ماسورة أخرى رأسية تسمى ماسورة « القبعة » ، وفى منتصف كل منها تقريباً فتحة تتصل بها ماسورة مائلة تلتق بالماسورة من الجانب الآخر ليكونا ماسورة الغاز المسماة بماسورة « البنطلون » ، التى تتصل من نهايتها الأخرى بمجمعات أتربة الغازات ، ويتراوح قطر هذه المواسير مابين ٨٠ و ١٢٠ سم ، ويراعى عند تصميمها الدقة البالغة .



شكل ١٨- قمة الفرن والأجراس

تصميم الفرن العالى

الأفران العالية من الوحدات الصناعية التى تعرض تصميمها للكثير من التغيرات منذ بدء العمل بها حتى وقتنا هذا . وكان التغير ناجماً عن التطور الذى استوجبه التقدم التكنولوچى عامة ، والخبرة العملية فى تشغيلها خاصة .

ولقد أدى ذلك الى تأثر شكل الفرن بجغرافية الموقع . فأصبح هناك التصميم الشائع الخاص بالأفران الأمريكية ، والتصميم الذى انتشر بين بلدان الدول الأوربية . وفى النوع الأول يحمل المخروط العلوى على أعمدة متصلة فى نهايتها الأخرى بقاعدة الفرن (الأساس) ، فى حين يحمل الصاج المغلف للمخروط ، وحدات القمة وجسر الشحن والمسارات الدائرية حول الأفران عند المستويات المختلفة . ويبنى النوع الآخر مستقلاً ، حيث تحمل أربعة أعمدة ضخمة مثبتة فى أساس الفرن ، كل معدات القمة والمعدات المساعدة ، بدلاً من صاج الفرن فى التصميم الأول .

ويعتبر التصميم الأمريكى ، المرحلة النهائية من عدة مراحل تطوير. أولها « الأفران المربوطة » ، التى كان المخروط العلوى بها يبنى من طوب حرارى يغلف من الخارج بألواح من الصاج يلف حولها شريط من الصلب ، يربطها فى صفوف يعلو بعضها بعضاً ، بينما تغلف بودقة الصهر والمخروط السفلى بصاج مربوط بمسامير . وآخرها « الأفران المدرعة » وفيها تحيط ألواح الصاج السميكة الملحومة معاً بالطوب الحرارى ، إحاطة تامة .

ولنقص الخبرات العملية والتكنولوچية ، تعرض تصميم الأفران قديما للعديد من التغييرات التى لم لكن تستند الى الدليل العملى الواقعى . وهنالك خلافات عديدة فى الرأى ـ لاتزال قائمة حتى الآن ـ فيا يختص بمدى تناسق أبعاد الأجزاء المختلفة للفرن أنظر الشكل (٢٥) ، ويرجع ذلك أساساً إلى عدم تطابق نتائج الاختبارات والفحوص التى تجرى على الأفران فى نهاية أو فى خلال فترة تشغيلها مع النتائج حصيلة الخبرة العملية .

غير أن التطور العلمى والعملى ، وتوالى الاختبارات وربطها بالواقع العملى ، مكن من التعرف على العديد من التغيرات التى يتعرض لها شكل الفرن خلال فترة تشغيله . فلقد اتضح أن كل أبعاد الفرن تتعرض للتغير ، بحيث يختلف شكل الفرن بعد التشغيل عنه عند التصميم وكمثال لذلك ، التغيير الناجم عن زيادة الاقطار المتوسطة به مثل قطر الأسطوانة

الذى يتسع كثيراً ، وكذلك التغيير فى ارتفاع المخروط السفلى ، وهو البعد بين حافة بودقة الصهر العليا ، وأكبر قطر فى المخروط العلوى الخ . .

ولقد أثبتت التجارب أن نوعية وكمية هذا التغير تعتمدان على بعض نواحى التصميم للفرن ، كتصميم دورة تبريد الطوب الحرارى ، أو على ظروف التشغيل ، كتوزيع شحنة الفرن وكيفية هبوطها ، ومسار الغازات الصاعدة التى تتأثر بأبعاد الفرن التصميمية الأصلية ، كقطر الحلق ، وقطر الجرس الكبير وقطر بودقة الصهر .

وبأخذ الإعتبارات العديدة المحيطة بالتشغيل ، والناجمة عن طبيعة العمليات الميتالورچية التى تتم بالفرن العالى ، يمكن القول بأن بعض أبعاد الفرن تتعرض إلى أقل القليل من التغير ، ويمكن اعتبارها ثابتة بطول عمر تشغيل بطانة الفرن الأصلية وهذه الأبعاد هى قطر الحلق وقطر بودقة الصهر وارتفاع البودقة ، وارتفاع الحلق ، والارتفاع النافع للفرن . أما بقية أبعاد الفرن ـ وإن اختلفت فى معدل تغيرها ـ تكون ثابتة فقط ، قبل بدء نفخ الفرن .

وكل الحقائق المذكورة عاليه ، أتت نتيجة البحث المرهق المتواصل ، للوصول إلى معرفة حقيقة مايدور بداخل الفرن من عمليات خاصة وأن الفرن العالى بوضعه المغلق ، لم يقدم المساعدة الفعالة للباحثين . ولقد تطلب ذلك منهم أن يحددوا أولاً وقبل كل شىء المهام التى يجب أن تؤديها الأفران ، مع مراعاة الاعتبارات التكنولوچية للعمليات التى تتم بها . وكان من اللازم أن تؤخذ فى الاعتبار حصيلة الخبرة العملية السابقة فى تشغيل الأفران ، حيث أن مؤشرات الأداء عديدة وتتطلب الاهتمام بدراسة كل منها . ولقد أمكن تلخيص كل ذلك فى الآتى :

١ ـ يجب أن يحرق الفرن الكمية المحددة له من الكوك .

٢ ـ يجب أن تتوفر إمكانية استغلال الغازات الصاعدة بالفرن فى عمليات تسخين المشحونات ، واختزال الحديد وبعض العناصر الأخرى الموجودة بها .

٣ ـ يجب الحصول على المعدن الناتج عن عملية الاختزال فى حالة سائلة ، تضمن سحبه من الفرن وتسمح بنقله إلى المستهلك ، مع تخليصه من الشوائب بالقدر المسموح به فى عمليات الأفران العالية .

٤ ـ يجب تجميع شوائب الخامات المستخدمة ، ورماد الكوك فى صورة خبث سائل ، يمكن سحبه من الفرن ونقله

٥ ـ يجب أن يتحقق التشغيل الاقتصادى ، وخاصة فيا يتعلق باستهلاك يجب أن يتحقق التشغيل الاقتصادى ، وخاصة فيا يتعلق باستهلاك الكوك وذلك بالموازنة بين معدل هبوط الخامات المشحونة بالفرن ، وانتظامه ، وتصاعد الغازات وتخللها لها .

من ذلك يتضح أنه للوصول الى الحديد والخبث بحالتها السائلة المطلوبة ، تتعرض شحنة الفرن إلى تغيرات عديدة فيزيقية وكيميائية ، وللتمكن من الحصول على النتائج بصورتها المطلوبة ، يجب أن يتم كل تغير من هذه التغيرات فى مكان محدد بالفرن ، وأن ينتهى تماماً فى هذا المكان قبل أن تنتقل منتجات إحدى المراحل إلى المرحلة التى تليها . وبالتالى فإنه لايمكن الإسراع بإنهاء العمليات فى منطقة معينة بالفرن دون التأثير على ما يسبقها ومايليها من مراحل . ومنه يتضح أن كل جزء بالفرن العالى فى اتجاه هبوط الشحنة يجب أن يصمم بالصورة التى تؤكد انتهاء التغيرات المطلوبة فيه والمحددة له ، وبالتالى فهو مرتبط بالجزء الذى يعلوه وأيضاً مرتبط بالجزء الذى يليه . ويعنى ذلك أنه يجب أن يحدد الحجم النافع لكل منطقة بدقة تامة ، وأن يخضع للقوانين التكنولوجية الثابتة .

وحيث أن إنتاجية أى فرن ـ وهى مقياس لإتمام العمليات التى تتوالى فى مناطق الفرن المختلفة ـ تكاد تكون ثابتة عند تشغيل هذا الفرن تحت ظروف متماثلة ، فإن ذلك يعطى الدليل على أن أحجام مناطق الفرن المختلفة قد ارتبط بعضها ببعض بعلاقات ثابتة محددة كفلت إتمام العمليات اللازمة فى كل منها تماماً .

ويعنى كل ذلك أن هناك حقيقتين يجب تحقيقهما عند تصميم أى بعد بالأفران العالية وهما :

١ ـ أن يكون هناك تناسق تام فى شكل الفرن عامة ، وشكل كل منطقة به ، بما يتناسب ومايتم فيها من عمليات ، فمثلاً ، مع بدء تشغيل الفرن تتغير كل معالم أبعاده التصميمية نتيجة تآكل البطانة الحرارية المحدودة له فى مناطق عديدة . وتبلغ زيادة الحجم الناجم عن الحجم الأصلى التصميمى بعد سنتين حوالى ١٥٪ تقريباً ، ويعتمد ذلك على تصميم معدات تبريد الفرن .

٢ ـ أن تربط كل مناطق الفرن بعضها ببعض بعلاقات ثابتة تمكن الفرن من أداء وظيفته .

وأبعاد الفرن ومناطقه التى ينبغى الإحاطة بتصميمها هى :

١ ـ حجم الفرن النافع ، والتالى سعة الفرن .

٢ ـ ارتفاع الفرن النافع .

٣ ـ حلق الفرن .

٤ ـ المخروط العلوى ، والمخروط السفلى ، والأسطوانة .

٥ ـ بودقة الصهر .

ورغم المجهودات التى بذلت فى هذا المجال ، تضاربت الآراء واختلفت بين العلماء والباحثين فى جميع بلدان العالم ، بحيث أصبح من الصعب تحديد علاقة يتفق الجميع عليها بين كل جزء من الفرن والجزء الآخر .

غير أننا نورد فيما يلى بعضا من هذه العلاقات التى أمكن التوصل اليها وهى أن كانت فى الواقع تمثل فيما بينها تفاوتا قد لايكون مقبولا فى بعض الأحيان ، إلا أنها ولا شك ذات فائدة كبيرة فى تحديد المدى الذى تنحصر فيه القيمة المثالية ، وبالتالى فهى تكتسب قيمتها كدليل يمكن الاسترشاد به .

١ ـ حجم النافع للفرن :

وهو حجم الفرن الذى يشغل بالمشحونات الصلبة والمنتجات السائلة أو بعبارة أخر حجم الفرن فيالمنطقة بين مستوى الشحنة بالفرن ومستوى فتحة الحديد .

وهو الجزء المستخدم فى عمليات الفرن . ويعتبر من الأبعاد الهامة والمحدودة للطاقة الإنتاجية للفرن لذلك فلقد حاول العديد من العلماء والباحثين وضع العلاقات التى تربط بينه وبين بقية أبعاد الفرن الأخرى وبينه وبين الظروف المحيطة بعمليات الانتاج . ومن أوائل هؤلاء جولد سبرخ وتروسال اللذان ربطا بين هذا الحجم ، وقطر الإسطوانة ، والارتفاع الكلى للفرن ـ وهو الإرتفاع من فتحة الحديد حتى مستوى الشحن أعلى الفرن ـ بالعلاقة الآتية .

ح = ث . ع .ق

حيث :

ح = الحجم النافع للفرن

ث = ثابت بتوقف على الإنتفاع الفرن الكلى ، ويترا وح مابين ٤٧ر٠ ـ ٥٣ر٠٠

ع = الإرتفاع الكلى للفرن .

ق = قطر نهاية المخروط العلوى !! قطر الحلق !!.

وقد حددا الإرتفاع الكلى للفرن والقمة بحوالى من ٢٢ الى ٢٥ مترا.

ويحدد الجانب الآخر من العاملين بالأفران العالية حجم الفرن النافع بالعلاقة التالية:

ح = ك/م

حيث:

ح = الحجم النافع العامل للفرن.

ك = كمية الكوك المحترقة بالفرن كل ٢٤ ساعة من التشغيل المنتظم المستمر المنتظم المستمر.

م = كمية الفحم المحترقة لكل م٣ من الحجم النافع للفرن كل ٢٤ ساعة من التشغيل المنتظم المستمر.

وحيث أن كربون الكوك هو المورد الأصلى للطاقة التى تتحكم فى مدى تقدم العمليات بالفرن ويمكن القول بأن معدل استهلاك الكوك لكل وحدة زمنية هو فى الحقيقة مقياس أو مؤشر لمدى هذا التقدم واستمراره.

وتختلف هذه الكمية فى بلدان العالم المختلفة. فهى محددة بكمية ٩٠٠ كجم فى أمريكا، بينما هى ١٢٠٠ كجم فى الإتحاد السوفيتى وهذا الاختلاف نابع من أن الحجم المأخوذ فى الحسابات اليومية العادية هو الحجم التصميمى الأصلى للفرن، وليس حجم الفرن الفعال الحقيقى. ولهذا تعتبر القيمة المحددة من العاملين بأفران الاتحاد السوفيتى خاصة أكبر من القيمة الحقيقية.

ولقد حدد ج. ج اريشكن هذه القيمة بمقدار ١٠٠٠ الى ١١٠٠ كجم /م٣ حيث تقترب القيمة من ١١٠٠ كجم / م٣ / ٢٤ ساعة تشغيل كلوا تقاريت وتناسقت أبعاد الفرن المختلفة من أبعادها المثالية.

٢ ـ الارتفاع النافع للفرن:

أجمع العاملون بالأفران العالية والباحثون على تأثير خواص الكوك وقدرته على مقاومة الإحتكاك وتقبل التحميل، وكذلك تأثير خواص بقية مكونات الشحنة، فى تحديد قيمة هذا الارتفاع بما يتناسب وهذه الخواص من ناحية وتحقيق أكبر فائدة من الغازات الصاعدة فى

اختزال وتجهيز الشحنة الهابطة من ناحية أخرى ، ولقد حدد بالفوت الروسى هذا الإرتفاع بمقدار يتراوح مابين ٢٠ ـ ٢٧ مترا بينما حدده ا . ن رام الروسى أيضا بالعلاقة التالية :

ع = ٤٤ر٦ ح^٢ر٠

حيث ع = إرتفاع النافع للفرن ، ح الحجم النافع للفرن .

التى تربط بين الحجم النافع للفرن وارتفاعه النافع لما بينهما من ترابط قوى وضمان لضرورة التنسيق بين متطلبات التشغيل التى يجب أن يحققها كل منهما وعليه أصبح إرتفاع الفرن النافع للفرن حجة ٦٠٠ متر مكعب = ٢٣٫٣ مترا بينما يبلغ ذلك الارتفاع ٢٧٫٨ لفرن بحجم لافع ١٥٠٠ متر مكعب ويلاحظ أن هذه النتائج فى تناسق تام مع نتائج بالفلوت الروسى .

ويأخذ متطلبات العمليات الإناتاجية فى الإعتبار وتحول الشحنة الصلبة أعلى الفرن الى ناتج فى حالة السيولة فى أسفله فلقد ظهر رأى آخر يربط بين الإرتفاع النافع للفرق بين هذه المتطلبات . وهذا الرأى يحدد ضرورة أن لايزيد الارتفاع عن ٢٤ مترا حيث حدث نتيجة زيادة إرتفاع الفرن على هذا القدر لبعض الأفران الكثيرة أن كان إنتاجها أقل من الإنتاج المتوقع لها ، وهذا الى ماتطلبه زيادة هذا الارتفاع من خواص للكوك المستخدم قد يصعب الحصول عليها .

٣ ـ حلق الفرن أو الزور :

يؤثر توزيع الشحنة بأعلى الطريق الذى تخترقه الغازات الصاعدة لذلك فإن هذا التوزيع أمر بالغ الأهمية تكنولوجيا . وتلزم مراعاة الدق ة التامة عند تصميم حلق الفرن لتوفير أفضل الظروف لهذا التوزيع ، رغم ماهو معروف عمليا من من إستطاعة الفنيين التحكم فيهذا التوزيع بوسائل الشحن وطرقه المتعددة .

ولقد تعرض بعض الباحثين لدراسة أبعد الحلق وعلاقته بقطر الجرس الكبير ، منهم « ماكينزى » الذى حدد قطر الجرس الكبير بالعلاقة الآتية :

لوق = ٢٤٢و٠ × م/٢٤ + ٧٤٢٨و٠

ق = قطر الجرس الكبير ، م = الإنتاج اليومى للفرن بالطن ويزيد قطر الحلق عن قطر الجرس بمقدار ١٢٥ الى ١٥٠ سم .

ولكن بعض الباحثين الآخرين ربط بين مساحة حلق الفرن ومساحة منطقة احتراق

الكوك أمام الودنات ، حيث أن هناك تؤثر فى سرعة وكيفية هبوط الشحنة داخل الفرن . ومعنى ذلك أن هناك علاقه ثابتة بين قطر لودقة الصهر وحلق الفرن ، ليس فقط لأنهما بعدان لايتأثران كثيرا بتقادم الفرن ، ولكن لضمان نسبة معينة بينهما وبالتالى بين مساحة الفرن عند مستواها لتحقيق أقصى الفوائد العملية .

وقد حدد رايس هذه العلاقة بتساوى مساحة الحلق ومساحة منطقة الإحتراق بينما حددها ج . ج اريشكن نتيجة تجاربه ودراساته لبعض الأفران بالاتحاد السوفيتى التى تتميز باتزان حرارى جيد بالعلاقة التالية :

قس= ٨و٠ قص

حيث ق س قطر الزور   قص قطر بودقة الصهر

ونظرا للعلاقة الوطيدة بين قطر الحلق وقطر الجرس الكبير ، فقلد تعرض العديد من العلماء لدراسة هذه العلاقة ومنهم دى فاتر ، الذى حدد أن مساحة الجرس الكبير تعادل ٢/١ مساحة الحلق غير أن هذه العلاقة تصلح فقط للأفران الصغيرة دون الكبيرة .

أما باقلوف فلقد أعتبر أن علاقه « دى فاتر » صحيحة للأفران حتى قطر خمسة أمتار ، وحدد الفارق بين قطر الجرس الكبير وقطر الفرن بمقدار ١ر٢٣ متر للأفران التى يبلغ قطر الجرس الكبير فيها ٤ر٦ متر (أفران مصانع ماجنيتو جورسك الروسية)

وحدد ج .ج اريشكن هذا الفارق بين قطر الحلق وقطر الجرس الكبير بمقدار يتراوح مابين ٢ر١ ـ ٦ر١ متر وتستخدم القيمة الأقل فى حالات الخامات الخامات غير المجهزة ، بينما تستخدم القيمة العليا فى حالات استخدام الخام الخشن أو اللبيد .

ورغم هذا التباين الكبير بين آراء العلماء والباحثين فى تحديد أبعاد قطر الحلق إلا أنهم لم يختلفوا كثيرا فى تحديد ارتفاعه الذى حددوه بقيمة تتراوح مابين ٥ر٢ و٠ر٣ أمتار وأخذه ج .ج اريشكن معادلا ٦ر٢ متر فى حساباته للارتفاع النافع للفرن .

٤ ـ المخروط العلوى ـ الأسطوانة والمخروط السفلى :

تشحن المواد بأعلى الفرن العالى صلبة وفى درجة حرارة عادية ، ثم تتوالى عليها التغيرات الكيميائية والفيزيقية خلال هبوطها بالفرن . فتزداد حرارتها ، وبالتالى يزداد حجمها نسبياً بترسيب الكربون ، ثم تصهر وتختزل نسبياً فتتماسك ، ثم تتحول الى السيولة فى

درجات الحرارة العليا . وفى المنقة الاحتراق أمام الودنات يتحول الجزء الصلب الباق منها (الكوك) إلى غازات . ولكى يقابل تصميم الفرن هذه المتطلبات اتخذ شكله الحالى حيث يبدأ فى أعلاه وينتهى بأسفله بأقل الأقطار، بينما تزيد أقطاره فيما بينهما .

ويتحكم هذا التحول من الحالة الصلبة إلى السائلة فى تحديد التحول من المخروط العلوى إلى الأسطوانة إلى المخروط السفلى . إذ أنه من المعروف أن سيولة المواد الهابطة تتحسن كلما كان منبعها المستويات المنخفضة من الفرن . ولكن حيث أنه يتحتم تهيئة الجو للغازات الصاعدة كى تتسلل خلال الفجوات الموجودة بين المشحونات الصلبة (الكوك) بسهولة ، وأن لاتلق مقاومة كبيرة من تماسك المشحونات السائلة جزئياً ، فإن هذا يتطلب أن تتم هذه الإسالة فى مستويات أعلى بالفرن . ولكى يتم التوفيق بين المطلبين ، يجب أن يكون التحول من المخروط العلوى الى المخروط السفلى عند المنطقة التى يزداد فيها تحول المواد الصلبة الى الحالة السائلة ، حتى تنساب هذه إلى المناطق التى تحتها تاركة فجوات تسهل مرور الغازات الصاعدة . إذ لو حدث هذا التحول فى منطقة منخفضة عن الموضع المفروض لها فإن ذلك يسبب وصول مشحونات لم يتم بعد تجهيزها الى هذه المنطقة الحرجة بالفرن ، مما يؤثر على الإتزان الحرارى للمنطقة ، ويسبب ارتباكاً للعمليات الميتالورجية والإنتاج ونوعيته . كما أنه لو حدث هذا التحول فى منطقة تعلو المكان المفروض فمعنى ذلك أن توجد مواد لم يكتمل إصهارها وسيولتها فتتماسك مع بعضها بعضاً وتسبب تعليق شحنة الفرن وصعوبة اختراق الغازات الصاعدة لها . ولما كان من الصعب تحديد مستوى معين يمكن أن يقال أنه الفاصل بين مايعلوه من مواد متماسكة ، وما بأسفله من مواد لدنة أو سائلة فلقد وضع الجزء الأسطوانى الذى يعلو المخروط السفلى ، والذى يعلوه المخروط العلوى ، وسمى هذا الجزء الأسطوانة أو البرميل .

وبالنسبة لتأثير هذا الجزء على تسلسل العمليات والتغيرات الفسيزيقية والكيميائية للمشحونات ، وباعتبار أنه أكبر أقطار الفرن ، فلقد لقى الكثير من الإهتمام من الدارسين والباحثين .

وقد ربط بعض الأمريكيين العلاقة بين قطر الأسطوانة وقطر بودقة الصهر بالعلاقة الآتية :

بينما حدد الأوربيون هذه العلاقة كالاتى :

ولقد حدد اريشكن قطر الأسطوانة بالعلاقة التالية :

حيث :

ح/ حجم المخروط العلوى والسفلى معا

نق س نصف قطر الأسطوانة .

نق س نصف قطر بودقة الصهر

أما فيما يختص بارتفاع المخروط السفلى فقد حدده م.م باڤلوف متفقاً مع القيمة التى حددها الأمريكيون لهذا الارتفاع وقدرها ٣,٠ إلى ٣,٥٠ أمتار. أما أريشكن فقد حدد ارتفاع المخروط السفلى + ارتفاع الأسطوانة معاً بمقدار ٦,٠٠ أمتار، وهو لايختلف كثيراً عن سابقيه.

وتعتبر زاوية ميل المخروط السفلى خامة ، حيث تتحكم فى مدى تحميل عامود الشحنات أعلاها على جوانب المخروط وتحدد قيمتها بمقدار ٧٦ إلى ٨٠ درجه مئوية.

أما ارتفاع المخروط العلوى فلقد ربطه العديد من الباحثين بالعلاقة الآتية :

ارتفاع المخروط العلوى = الارتفاع الكلى - (ارتفاع الحلق + ارتفاع البودقة + ارتفاع المخروط السفلى والأسطوانة) وهو حسب ماذكره اريشكن يعادل ١٢,٠٠ متراً تقريباً.

وتعتبر زاوية هذا المخروط عن الأفق من أهم أبعاد الفرن. ولقد حددها م.م باڤلوف بقيمة ٨٥ درجة مئوية عند استخدام خامات هشة أو تحتوى نسبة عالية من النواعم و ٨٧° عند استعمال الخامات الخشنة الصلبة.

٥ - بودقة الصهر :

فى رأى العديد من العلماء أن أبعاد بودقة الصهر هى التى تحدد إنتاجية الفرن العالى. ذلك أن مساحة بودقة الصهر تحدد كمية الكوك التى تحترق فى فترة زمنية محددة. ولو أن

ذلك يعتمد أيضاً على كمية الهواء المنفوخ. وأهم المتطلبات التى يجب أن يحققها التصميم المختار لبودقة الصهر مايلى:

١ ـ أن يتسع لكمية محددة من الحديد والخبث السائلين.

٢ ـ أن يتيح الفرصة لحرق الكمية المحددة من الكوك لكل وحدة زمنية.

٣ ـأن تتم كربنة المعدن المنصهر وتخليصه من الكبريت ماأمكن.

ونظراً للأهمية التى تنفرد بها هذه المنطقة بسبب تأثيرها على إنتاجية الفرن، فلقد تعرض العديد من الباحثين لتصميمها، ووضع العلاقات المحددة لها ومن أولهم ستيفنسون الذى ربط بين إنتاج الفرن وبين قطر بودقة الصهر بالعلاقة الآتية:

ق = ١,٨^{٣} م

م = كمية الإنتاج بالطن فى اليوم

نق = قطر بودقة الصهر.

نق = قطر بودقة الصهر

كذلك حدد ماكينزى العلاقة بين قطر بودقة الصهر وبين الإنتاج اليومى نتيجة اختباراته التى أجراها على ٢٥ فرناً عالياً تعمل بأوربا بالعلاقة التالية:

$$\text{لو ق}_{\text{ر}} = ٠,٢٦٦ \ \text{لو} \ \frac{\text{م}}{٢٤} + ٠,٨٥٢٦$$

ومن الملاحظ محاولة كل منها ربط أبعاد بودقة الصهر بالإنتاج اليومى للفرن أما الباحثون الآخرون فلقد حاولوا ربط أبعاد بودقة الصهر بكمية الفحم التى يمكن احتراقها لكل وحدة مساحة من سطح بودقة الصهر لكل ٢٤ ساعة، وبين كمية الفحم اللازمة لإنتاج طن من الحديد. ومنهم ماكنزى، وجولد سبروخ، وتروستال، وپاڤلوف. ونتيجة لاختباراتهم فقد حددوا هذه الكمية بمقدار ٦٦ الى ٧٦٠ كجم /م^{٢} فى كل ساعة.

وحدد پاڤلوف أقطار بودقة الصهر لمجموعة من الأفران تتراوح سعتها بين ٥٥٠ و ١٢٥٠م^{٣} غير أنه لوحظ أن الأبعاد الناتجة من تطبيق علاقة پاڤلوف كانت أكبر من الموجود حالياً بالصناعة، وخاصة للأفران ذات الإنتاج بين ٦٠٠ - ١١٧٥ طن/ يوم. ويمكن تعليل ذلك بانخفاض معدل احتراق الكوك الذى استخدمه عن المعدل الفعلى

الساري حالياً والذي يبلغ ١٢٥٠ كجم/م٢ من مساحة بودقة الصهر لكل ساعة وهو الذي يتم في غالبية الأفران بإنتاجية ٦٠٠ حتى ١٢٠٠ طن يومياً . وكان المعدل الذي اقترحه باڤلوف يقل بنسبة ٣٠٪ عن ذلك المعدل .

وبتطبيق المعدل الحالي لوحظ أن النتائج التي حصل عليها تقاربت مع نتائج تطبيق نظرية باڤلوف للأفران الحالية . وبناء عليه تمكن ج .ج اريشكن من وضع العلاقة التالية :

$$ق_{ص} = \frac{ك}{٠,٧٨٥ \times ٣٠} = \frac{ك}{٢٣,٥٥}$$

ق ص = قطر بودقة الصهر ك = كمية الفحم المحترقة/ ٢٤ ساعة

حيث ٣٠ = ١,٢٥٠ × ٢٤ = كمية الفحم المحترقة /م^{٢}/٢٤ ساعة

$$٠,٧٨٥ = \frac{ط}{٤} = \frac{٣,١٤}{٤}$$

ويلاحظ أن الارتفاع حاليا في المقدار المحدد لكل م^{٢} كل ساعة قد ناجم عن إمكانية تشغيل أجزاء الفرن وكل مناطقه .

أما ارتفاع بودقة الصهر فقد حددت المشاهدات والخبرة العملية قيمتها بمقدار يتراوح مابين ٣,٢ - ٣,٥ أمتار أمتار وبذلك تحققت العمليات التي تؤدي لمنطقة الصهر مثل كرينة المعدن ، وزيادة تسخينه هو والخبث ، وتخليصه من نسبة عالية من الكبريت . وتوضع فتحة الخبث على ارتفاع ١٤٠ إلى ١٦٠ سم من مستوى فتحة الحديد وإذا جهز الفرن بفتحتي خبث فالفرق بين مستويها يبلغ ١٢ إلى ١٥ سم ، ومستوى فتحات نفخ الهواء اللافح « الودنات » يعلو بمقدار ١,١٠ إلى ١,٣٠ سم مستوى فتحة الخبث العليا وعلى بعد يتراوح ما بين ٥٠ و ٦٠ سم من الحافة العليا لبودقة الصهر .

ولقد كان من نتائج هذه الدراسات المكثفة لعلاقة مناطق الفرن العالي بعضها ببعض ، أن قامت دول عديدة بتغيير تصميمات الأفران العالية القديمة الموجودة بها طبقاً لنتائج هذه الدراسات وذلك بتعديل في تصميم أبعاد البطانات الحرارية في المناطق المختلفة بالفرن مع إدخال نظم التبريد الحديثة والأكثر فاعلية كما حدث بالفرن رقم ٢ بمصانع آزوفستال الروسية مما رفع إنتاجية الفرن بنسبة ٢٥٪ وقلل من استهلاك الكوك بمقدار ١١٪ .

الباب الثالث

الحراريات المستخدمة فى بناء الأفران العالية

تتم عملية صهر الخامات بالأفران العالية، للحصول على الحديد الزهر فى درجات حرارة عالية. ولهذا أصبح من الضرورى تبطين الأفران، وبعض ملحقاتها، بالطوب الحرارى الواق، الذى يختلف فى مواصفاته وطرق تصنيعه، تبعاً للاحتياجات التكنولوجية لواجب توافرها فى مكان الاستخدام، ولذا نلحظ أن الحراريات المستخدمة فى تبطين الأفران العالية خاصة، أو ملحقاتها عامة، ذات طابع خاص، إذا قورنت بالطوب الحرارى العادى. إذ تصنع هذه الحراريات من مكونات لا تقل درجة حرارة انصهار أى منها عن ١٥٨٠ م°، وكما يتضح من الجدول التالى:

المكونات الأساسية للطوب الحرارى المستخدم بالأفران العالية

المادة	الرمز الكيميائى	درجة حرارة الانصهار
السيليكا	س ا٢	°١٧٠٠
الألومينا	لو٢ ا٣	٢٠٥٠م
الجير	كا ا	٣٦٧٠م
الماغنيسيا	مغ ا	٢٨٠٠م
أكسيد الكروم	كر ا	
الكربون	ك	يتسامى دون أن ينصهر فى درجة حرارة ٣٩٠٠° م

طريقة صنع حراريات الأفران:

تجمع المواد الخام اللازمة لإنتاج أى نوع من حراريات الأفران العالية، وتنق من كل الشوائب العالقة بها، ثم تكسر وتطحن وتنخل، وتوضع فى صوامع تخزين حسب

احجامها ، وتسحب الخامات المطحونة منها بكميات محسوبة ، للحصول على خلطة متجانسة التكوين تماماً . وتضاف إلى هذه الخلطة مواد رابطة ، ثم تشكل بعد ذلك ، باستخدام المكابس الميكانيكية ، إلى الأشكال والمقاييس المحددة المطلوبة . وتترك هذه بعض الوقت للجفاف ، بعدها تشحن فى أفران خاصة أو قائن ، ترفع درجة حرارتها بالتدريج ، وتحت مراقبة صارمة ، وبنظام خاص ، يتناسب ونوع كل منها ، إلى أن تصل درجة حرارتها حتى ١٣٠٠ إلى ١٦٠٠°م ، ويستخدم غاز الأفران العالية ، أو الغازات الطبيعية ، أو غاز الكوك فى تسخين هذه الأفران .

أسباب تداعى الطوب الحرارى بالأفران :

نظراً لتعدد العوامل التى تتحكم فى عملية إنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية وتباينها ، واختلافها من مستوى إلى مستوى بالفرن ، فلقد تنوعت المسببات التى تؤثر على مقاومة الطوب الحرارى المبطن لها ، والتى تقلل من زمن تشغيله ، الشكل (٣٦) .
وعليه فلإطالة زمن التشغيل هذا ، يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمواجهة كل ما تسببه هذه المؤثرات من أضرار وإتلاف للحراريات ، والتغلب عليها .

وأهم هذه المؤثرات :

(ا) تحلل الطوب الحرارى بسبب الكربون المترسب عليه (التحلل الكربونى) .
(ب) الأثر الكيميائى للقلويات والخبث .
(ح) التغيير الحجمى للطوب ، وتأثير المواد المتطايرة بمكونات الشحنة .
(د) شكل وتصميم الفرن والتوزيع الحرارى بداخله .
(هـ) تشغيل الفرن ونظام النفخ المستخدم .

وفيا يلى شرح مبسط لبعض هذه الظواهر ، وأثر كل منها على حراريات الفرن العالى :

(ا) التحليل الكربونى : يقصد بذلك ، ما يعترى الطوب الحرارى من تفتت ، بسبب الكربون الناتج من تحلل أول أكسيد الكربون الموجود بغازات الأفران الملامسة للطوب ، على النحو التالى :

أول أكسيد الكربون   كربون + ثانى أكسيد الكربون

ك ا   ك + ك ا٢

حيث يترسب الكربون على أسطح الطوب الخارجية ، أو على أسطح المسام بداخله .

والتفاعل المذكور عاليه ، يتم فى درجة حرارة منخفضة نسبيا (٤٥٠° م إلى ٥٧٠° م) ، وبشرط وجود عامل مساعد ، ويؤدى الحديد النشط الذى تم اختزاله حديثاً من أكاسيده ، والذى لم تتح له الفرصة بعد لاستكمال تكوين بلوراته وتوازنها ، دور مساعد التفاعل فى هذه الحالة .

ومما يتقدم يتضح أنه للتغلب على هذه الظاهرة ، يجب أن :

(١) تخلو الطينة التى يصنع منها الخليط ، بقدر المستطاع ، من المركبات الحديدية .

(٢) أن تكون مسامية الطوب المستخدم فى هذه المنطقة قليلة جداً ، حتى لا تعطى الفرصة لترسيب مزيد من الكربون ، بزيادة سطح التلامس بين الطوب والغازات .

(٣) أن تعطل خطوات تكوين مساعد التفاعل ، ويمكن ذلك بتحويل أكاسيد الحديد بالحراريات المستخدمة إلى مركبات حديدية صعبة الاختزال ، وبالتالى لا يتوافر وجود الحديد النشط الذى يقوم بعمل مساعد التفاعل .

ويختبر الطوب الحرارى لتحديد مدى مقاومته للتحلل الكربونى لتعريض عينات منه بعد تشغيلها فى درجة حرارة ٤٢٠ إلى ٥٠٠° م لتيار من غاز أول أكسيد الكربون ، أو بإمرار الغاز فى خلطة الطوب قبل التصنيع لمدة أربع ساعات ، ثم قياس كمية المترسب من الكربون عليها ومقارنته بالأرقام المتفق عليها .

(ب) تأثير القلويات : تحوى شحنة الأفران العالية عادة ، نسباً قليلة من القلويات ، ويعتبر الكوك والخام أهم مصادر هذه القلويات ، وأهمها أكسيد الصوديوم واكسيد البوتاسيوم ، وتتصاعد أكاسيد هذه القلويات مع ارتفاع درجات الحرارة داخل الفرن مع غاز الفرن العالى كأبخرة تتكثف ثانية فى المناطق المنخفضة الحرارة (نسبياً) أعلى الفرن ، حيث تتحد ببعض مكونات الطوب ، وتسبب بذلك خفضاً لدرجة حرارة بدء انصهاره ، وهى فى خلال هذا الاتحاد ، تحدث تغييراً فى التكوين البلورى للطوب ، مع زيادة فى حجمه تتسببان فى خلق شروخ به .

ومن هذه القلويات أيضاً سيليكات الصوديوم والألومينا والسيانوجين ، الذى يتكون من كربون الكوك ونتروجين هواء النفخ ، والذى يؤدى إلى تآكل الطوب وخفض قوة احتماله .

(ج) تأثير الخبث : يتآكل الطوب المبطن للفرن عند أماكن تلامسه مع خبث الأفران ، خاصة إذا كان هذا الخبث قاعدياً ، أى يحوى نسبة عالية من الجير ، وذلك لخواص هذا

الخبث أولاً ، ولإمكان اتحاد الجير بسيليكا الطوب الحراري ثانياً . ويحدث ذلك غالباً في المستويات الأعلى من فتحات نفخ الهواء ، حيث تزداد قاعدية الخبث عن مقدار قيمتها في الخبث النهائي .

(د) **تأثير المواد المتطايرة :** تتطاير بعض المواد كالرصاص والزنك ، إذا وجدت في شحنة الفرن ، (يجب تحاشي وجودها ما أمكن) ، في درجات الحرارة العالية ، لتعود فتتكثف في مسام الطوب الحراري في مناطق الفرن العليا ، حيث تنخفض درجة الحرارة نسبياً ، وتتأكسد هذه المواد بعد ذلك - بقدر محدود - فتتسبب في زيادة حجم الطوب ، وبالتالي تؤدي إلى تفتيته .

(هـ) **تأثير الاحتكاك :** ويقصد به هنا احتكاك شحنة الفرن خلال هبوطها بالطوب المبطن له . ويظهر أثر ذلك أكبر ما يكون في مكان اصطدام الخامات المشحونة بجدران الفرن ، وما يحدث بجوانب الفرن عند هبوط الشحنات . ولا يقتصر أثر ذلك على ما يسببه من أضرار بالطوب فقط ، ولكن يساعد هذا الاحتكاك على تآكل سطح الطوب ، وبالتالي زيادة تأثير القلويات والمواد المتطايرة والتحلل الكربوني ، نتيجة تجديد أسطح التلامس بين الطوب والغازات .

ولا تقتصر المؤثرات الضارة ببطانة الفرن على ما ذكر آنفاً ، ولكنها عديدة ومتشعبة . وخاصة ما يتعلق منها بطريقة تشغيل الفرن ، مثل عملية تجفيف مباني الفرن بعد بنائها ، وتكنولوجية إعداد خلطة غلق فتحة الحديد ، وما يصاحبها من تصاعد كميات كبيرة من البخار ، قد تؤدي إلى تصدع كبير في المباني ، ومنها أيضا ما تتعرض له بودقة الصهر ومنطقة فتحات النفخ ، من درجات حرارة عالية .

ومن آثار التشغيل أيضاً ، ما يسببه خطأ توزيع الشحنة بالفرن ، فلو حدث وتجمعت أحجام الخامات الكبيرة إلى جوار جوانب الفرن ، فسوف يكون ذلك سبباً في انخفاض مقاومة اندفاع الغازات الصاعدة الساخنة ملامسة للبطانة ، وأثر ذلك بالتالي على حراريانها ، بتعريضها إلى درجات حرارة أعلى من تلك المفروض وجودها تحت ظروف التشغيل العادية .

ولا يفوتنا في هذا المجال ، ذكر أثر تصميم الفرن الأصلي ، وأثر زيادة الطاقة الإنتاجية

للفرن ، وزيادة معدلات النفخ ، طمعا فى زيادة الإنتاجية ، من أثر على أعمار حراريات الأفران .

اختيار الحراريات لبطانة الفرن العالى : بعد استعراض المؤثرات المختلفة التى تؤثر على الطوب الحرارى المبطن للفرن ، ومع علمنا باختلاف الظروف المحيطة بالتشغيل فى كل منطقة من مناطق الفرن ، والدور الذى تؤديه ، أصبح جليا ، أنه لا يتوافر نوع واحد من الطوب يصلح لمجابهة كل هذه المتطلبات . وعليه يتضح أن أفضل الحراريات لمنطقة ما بالفرن ، هى تلك التى تمتلك المقاومة الأكبر للمؤثرات الفعالة عند هذه المنطقة . ومن هذا المنطلق ، أمكن اختيار الحراريات المناسبة لكل منطقة بالفرن ، بما يحق ذلك الهدف كالآتى :

• **منطقة الحلق :** فى هذه المنطقة ، تنخفض درجة حرارة الغاز نتيجة امتصاص الشحنة للقدر الأكبر من كمية الحرارة الموجودة به ، كما تكون الغازات الصاعدة قد تخلصت من معظم المواد المتطايرة والقلويات التى تحويها ، وعليه ، لا تتأثر المبانى بالمنطقة ، إلا بتصادم الشحنة لدى ارتطامها بجانب الفرن عند نزولها بعد فتح الجرس الكبير ، ولهذا يبطن الفرن فى هذه المنطقة ، ولإرتفاع ما بين ١,٥ الى ٢,٥ متر ، بقطع من الحديد الزهر الهياتيق ، يطلق عليها « بلاطات تسليح قمة الفرن » .

منطقة المخروط العلوى :

تحيط بهذه المنطقة المؤثرات الآتية :

١ ـ احتكاك الشحنة أثناء هبوطها بجدران الفرن .

٢ ـ أثر تحلل أول أكسيد الكربون (التحلل الكربونى) .

٣ ـ تأثير الوعتاتات ك والرصاص .

ومن ثم يمكن تحديد نوع الطوب الذى يلائم متطلبات هذه المنطقة ، بأن تكون مقاومته للاحتكاك كبيرة ، ومساميته قليلة ، ولتحقيق ذلك ، يتحتم أن يصنع من خلطة متجانسة الحبيبات ، وأن تكون قوالب الطوب كلها ذات أبعاد متساوية وكبيرة ، وذلك للإقلال من حجم الفواصل بين طوب ، وبالتالى الإقلال من المون المستخدمة لربطها ، والتى تكون سهلة التأثر بأضرار المؤثرات الموجودة . كما أن خفض عدد الفواصل ، يؤدى إلى الإقلال من الأبخرة التى تتولد عند تجفيف البطانة عند بدء تشغيل الفرن ، ويقلل من تسببها فى خلق

مسارات داخل مبانى البطانة تسمح بدخول غاز الأفران بعد ذلك .

ورغم فائدة كبر حجم الطوب للمبانى والرغبة فيه ، إلا أن صعوبة تجفيف هذه القوالب تماماً عند صنعها ، يسبب الكثير من متاعب التشغيل . مما دعا إلى إجراء أبحاث عديدة ، أدت إلى صنع الطوب حالياً من خلطة من مكونات تم تجفيف حوالى ٩٠٪ منها قبل التشغيل . ولهذا فائدة الإقلال من الرطوبة عامة بالقوالب ، وبالتالى خفض المسامية التى تسبب زيادة الرطوبة ، وما يتبعها من خروج بخار الماء عند التجفيف من خلق المسام بالقوالب ، الأمر غير المرغوب فيه كما سبق إيضاحه .

ويستخدم حالياً فى بعض بلاد العالم ، وخاصة أمريكا ، طوب حرارى تم استخلاص الهواء من مركباته من قبل ، يسمى « طوب خالى الهواء » .

ويحوى الطوب فى هذه المنطقة نسبة من الألومينا تتراوح ما بين ٣٢ و ٣٧٪ من وزنه الكلى ، (تزداد نسبة الألومينا كلما بعد مكان الطوب عن قة الفرن) ، والباقى سيليكا وأكسيد حديديك (٢ إلى ٢,٥٪) ، وأكسيد تيتانيوم (ت أ٢) بنسبة ١,٨ إلى ٢,٣٪ ، والجير بنسبة ٠,٢٥٪ .

المخروط السفلى :

وتتعرض هذه المنطقة بالفرن إلى :

١ ـ درجات حرارة مرتفعة جدا .

٢ ـ التآكل بسبب الغازات .

٣ ـ الأثر الكيميائى للخبث القاعدى والقلوى .

ولهذا يجب أن يكون الطوب المستخدم هنا من النوع المصمت (لا يحوى مسام) بقدر الإمكان ، قادر على مقاومة الحرارة العالية . ونسبة الألومينا بهذا الطوب مرتفعة تصل حتى ٥١٪ . وأخيراً يجب أن تتوفر لهذا الطوب خاصية تحمل الضغط فى درجات الحرارة العالية ، وأن تكون قابليته للانكماش والتمدد أقل ما يمكن .

بودقة الصهر :

هذه المنطقة هي المنطقة التى تحوى الحديد والخبث المنصهرين ، وتعد هذه المنطقة أخطر مناطق الفرن عامة ، إذ تتعرض للظاهرة المعروفة « بتصدع بودقة الصهر » ،

وهي أصعب ما يواجهه العاملون بالأفران العالية من حوادث .

ويمكن تلخيص أهم ما تتعرض له المنطقة في الاتي :

١ ـ درجات الحرارة العالية .

٢ ـ انكماش الطوب المبطن .

٣ ـ تأثير الخبث .

ويلاحظ في الحراريات المستخدمة في مثل هذا المكان من الفرن العالي ، أنها أنواع خاصة جداً من الطوب الحراري ، كطوب السيليماسينا ، وطوب السيليكا ألومينا ، التي يضاف إليها البوكسيت ، أو الدياسيور ، أو مواد أخرى تحوى نسبة عالية من الألومينا ، وذلك بهدف رفع نسبة الألومينا بها ، وحتى يمكن أن تكتسب الصفات الفيزيقية الضرورية .

وبسبب ارتفاع سعر الحراريات المصنوعة من الكربون ، بالإضافة إلى التقدم التكنولوجي الذي مكن من اكتشاف أي خلل ببطانة الفرن قبل حدوثه ، اتجهت بعض الدول ، وخاصة الاتحاد السوفيتي ، إلى استخدام الحراريات ذات الألومينا العالية ، في تبطين كل أجزاء الفرن ومقاطعه ، غير أنه وللخواص التي تتمتع بها الحراريات المصنوعة من الكربون ـ والتي سنذكرها فيا يلي ـ فإن استخدام حراريات الألومينا في منطقة بودقة الصهر والمخروط السفلي في معظم بلدان الكتلة الغربية وخاصة ألمانيا ، لا يزال محدودا .

أهم مميزات الطوب الكربوني :

يمتاز الطوب الكربوني بالعديد من الخواص ، التي ترفع من مكانته عند المقارنة بينه وبين الطوب الحراري عالي الألومينا . وأهم هذه الخواص ما يلي :

(١) يتسامى الكربون في درجة حرارة عالية تبلغ ٣٩٠٠° م ، وبهذا يكون متماسكا في درجات حرارة التشغيل في الأفران العالية ، وخاصة عند مستوى فتحات نفخ الهواء .

(٢) تنكمش غالبية الحراريات المصنوعة من الطين في درجات الحرارة العالية بنسبة قد تصل حتى ٧٪ عند درجة حرارة ١٤٨٠° م ، بينما لا تتعدى نسبة الانكماش للطوب الكربوني ٠,١ إلى ٠,٢٪ عند درجة حرارة ١٩٠٠° م .

(٣) درجة توصيل الحرارة للطوب الكربوني أعلى منها بكثير عن نظيرتها بالنسبة للطوب الحراري (تبلغ ١٠ أمثالها) ، وهي خاصية لها قيمتها في تكنولوجية الأفران العالية ،

حيث لأنها تقلل كثيراً من احتياجات التبريد . فيكفى تبريد السطح الخارجى للصاج المغلف للفرن ، لتحتفظ البطانة الكربونية بدرجة حرارة مقبولة ، وبالتالى يقل احتمال تسرب المياه إلى داخل الفرن وتبريد محتوياته .

(٤) لا يتفاعل الكربون مع خبث الأفران العالية ، ولا مع القلويات التى توجد بالفرن ، وبهذا يتفوق فى هذا المجال عن الطوب الحرارى .

(٥) للطوب الكربونى قوة تماسك عالية فى درجات الحرارة المنخفضة ، ترتفع بارتفاع درجة حرارته إلى مرة ونصف ، هذا بالإضافة إلى مقاومة كبيرة للاحتكاك (يتحمل الطوب ضغط يعادل ٣,٥ كجم لكل سم^2 عند درجة حرارة ١٧٠٠° م) ، وبذلك فهو يفى باحتياجات التشغيل التى تتطلب قوة تماسك عالية فى درجات الحرارة الأعلى من ١٤٨٠° م .

(٦) يمكن استعمال بعض الطوب الكربونى مرة أخرى عند إعادة تبطين الفرن ، بينما يكاد يكون ذلك مستحيلاً بالنسبة للطوب الحرارى . وكما يمكن استخدام الطوب الكربونى فى عمل خلطات الدك المختلفة .

(٧) نظراً لقوة احتمال الطوب الكربونى ، فإنه يمكن إعادة تبطين الجزء العلوى من الفرن ، وترك الأماكن المبطنة بالطوب الكربونى بأسفله ، بعد انتهاء عمر البطانة التشغيلى الأول . وبذلك تقل تكاليف إعادة التبطين عنها فى حالة استخدام الطوب الحرارى ، مع إعادة تبطين كل مناطق الفرن .

(٨) يلاحظ انخفاض درجة حرارة المبانى أسفل الفرن (تحت مستوى فتحة الحديد) فى حالة التبطين بالطوب الكربونى ، عنها فى حالة التبطين بالطوب الحرارى . وبذلك يمكن تحاشى التجهيزات الإضافية للتبريد بالهواء لهذه المناطق ، والمستخدمة فى حالة التبطين بالطوب الحرارى .

وهناك آراء عديدة تطالب بتعميم تبطين الفرن فى جميع المناطق باستخدام الطوب الكربونى ، وحتى تتاح ظروف أفضل لانتظام هبوط الشحنة ، ولمقاومة الاحتكاك . إلا أن ذلك لم يتم عمليا .

وباستعراض هذه الخواص المختلفة ، يتضح مدى ملاءمة الطوب الكربونى لتبطين منطقة بودقة الصهر والمخروط السفلى بالفرن ، وبهذا يمكن الإقلال ، إلى حد كبير ، من حوادث تصدع بودقة الصهر . ذلك أن أحجام الطوب الكربونى الكبيرة التى تصل إلى (٦٠ × ٧٠ × ٤٥ سم) ، وبوزن يصل حتى ٣ أطنان للطوبة الواحدة يسهل من عملية التبطين التى

يراعى خلالها اختلاف محاور كل طبقة من طبقات المبانى ، حتى لا تتماثل اثنتان منها فى اتجاه واحد . وبالتالى تقلل من إمكانية تسرب المعدن أو الخبث خلالها والإضرار بها .

ولقد أمكن صقل جوانب الطوب إلى درجة عالية ، بحيث لا يمكن إمرار شفرة الحلاقة بين طوبة وأخرى ، وبحيث تبنى أحياناً بدون استخدام أى مادة رابطة بينهما . ونظراً لعدم تبلل سطح الكربون بالمعدن أو تفاعلهما ، يقل احتمال تكوين بؤرة للحديد السائل فى قاع الفرن ، والتى تسبب العديد من المشاكل عند إعادة تبطين الفرن مرة ثانية .

أما بقية انواع الحراريات المستخدمة فى الوحدات المساعدة للفرن العالى ، كالمسخنات ، أو مواسير نفخ الهواء اللافح ، أو فى تبطين المجارى ، وكذا أنواع الخلطات الحرارية المستخدمة بين الطوب الحرارى المبطن للفرن وصاج التغليف فى المناطق المختلفة ، وتلك المستخدمة فى إغلاق فتحة الحديد أو تبطين مجارى الحديد ، فسيتم الحديث عنها فى الأبواب القادمة ، كلما عرض لذكر كل منها .

الباب الرابع
الوحدات المساعدة للأفران العالية

تعمل مع الأفران العالية، العديد من الوحدات المساعدة الهامة والتى تمكنها من أداء مهمتها . ونقدم فيما يلى وصفا موجزا لهذه الوحدات، ويجب أن لا يقرن الإيجاز فى الوصف بمدى أهمية وفاعلية هذه الوحدات، وإنما يدعو لذلك الإيجاز، هدف الى تبسيط المعلومات للقارىء ، فلكل وحدة من هذه الوحدات العديد من المؤلفات المتخصصة، التى تتعرض لها بتفاصيل التصميم وشرح النظريات التى توضح عملها، وتحدد لها مؤشرات الأداء، وبرامج الصيانة والتشغيل .

وتشمل الوحدات المقصودة هنا الوحدات التالية :

١ ـ وحدة نفخ الهواء .
٢ ـ وحدة مسخنات الهواء .
٣ ـ وحدة تنقية الغازات .
٤ ـ وحدة أحواش التشوين وصوامع الخامات .
٥ ـ وحدة معالجة وتصنيع الخبث .
٦ ـ وحدة ماكينة صب الزهر .
٧ ـ وحدة طواحين إعداد الطينة الحرارية .

١ ـ وحدة نفخ الهواء :

يحتاج إنتاج الطن من الحديد الزهر بالفرن العالى، لحوالى ٣,٨ أطنان من الهواء، ويختلف ذلك تبعا للعديد من المؤثرات المتعلقة بنوعية الكوك والخام المستخدمين، ونوع الحديد الزهر المنتج، إلخ . . وعموما، وبسبب ما ترتب على زيادة الطاقة الإنتاجية للأفران الحديثة، فقد تحدد مدى استهلاك الهواء بالأفران الصغيرة بمقدار ٢,٤ متر مكعب لكل دقيقة لكل متر مكعب من حجم الفرن الكلى، وبمقدار ٢ متر مكعب لكل دقيقة لكل متر مكعب من حجم الفرن الكلى، فى حالة الأفران الكبيرة .

وبمراعاة التوسع فى القدرات الإنتاجية للأفران الحديثة (٦٠٠٠ إلى ٨٠٠٠ طن / ٢٤ ساعة)، ولضمان الحصول على الكميات الهائلة اللازمة من الهواء، تستخدم ماكينات خاصة

تسمى « النفاخات » تقوم بسحب الهواء الجوى ودفعه فى مواسير إلى الأفران العالية . ولقد تعددت أنواع هذه النفاخات من حيث التصميم ، فنها النوع المعروف « بالبستم » وكذا النوع المعروف « بالروتر الدائر » . وتتم إدارتها جيعها بتوربينات تعمل بالبخار ، أو بالغاز ، أو بموتورات كهربائية . كما أن منها الأنواع الرأسية أو « الأفقية » أو « الرأسية الأفقية »

وحيث إن ظروف التشغيل بالأفران العالية ، تحتم ضرورة إمداد الأفران بوزن معين ثابت من الهواء للوحدة الزمنية دواما ، مهما كانت الضغوط المضادة الناجة عن زيادة الضغوط داخل الأفران ، فلقد روعي ذلك عند تصميم هذه الماكينات ، وذلك عن طريق منظمات خاصة تسمى « منظمات الحجم الثابت » التى تكفل الحصول على حجم ثابت للهواء دواما ، حسب المحدد والمطلوب ، دون ارتباط بضغط الهواء الجوى ، أو الضغط المضاد .

وعموما ، فالاشتراطات اللازم توافرها للنفخات كالآتى :

١ ـ أن تكون طاقتها الإنتاجية ثابتة ومستمرة ، وأن يكون تغير هذه الطاقة بتأثير الضغوط المضادة فى أضيق الحدود .

٢ ـ أن يكون مجال السيطرة على قدرات النفاخات الإنتاجية واسعا ، ويعنى ذلك أن اختلاف درجات حرارة الهواء الجوى وضغطه ، يجب أن لا يعوقا توفير الحجم اللازم من الهواء ، ويمكن حساب ذلك فى كل حالة حسب العلاقة التالية :

$$\text{ح}_{١} = \text{ح}_{٢} \times \frac{\text{ص}_{٢} \times ٢٧٣}{٧٦٠\,(٢٧٣ + \text{د})}$$

حيث :

$\text{ح}_{٢}$ حجم الهواء المنفوخ تحت الظروف المثالية (ج . ش . د .)

$\text{ح}_{٢}$ حجم الهواء المنفوخ تحت الظروف الحقيقية ($\text{ح}_{٢}$. $\text{ض}_{٢}$. $\text{د}_{٢}$)

$\text{ض}_{٢}$ ضغط الهواء المنفوخ مم زئبق .

د درجة حرارة الهواء م°

وتتحدد قدرة المنفاخ بالنسبة لحجم الفرن الذى يعمل معه ، بحيث تضمن إمداد الفرن بكمية الهواء المناسبة التى لا تسبب هبوط الشحنة فجأة أو تعليقها ، كما تفى بشرط تشغيل المنفاخ اقتصاديا .

وتحسب كمية الهواء اللازمة ـ بصورة تقريبية ـ باعتبار أن كل طن من الحديد الزهر المنتج يحتاج إلى ٢٨٨٠ مترا مكعبا من الهواء تحت الظروف المثالية شتاء أو صيفا ، وبالتالى تحدد قدرة المنفاخ تبعا لأقصى إنتاج مطلوب ، مع إضافة تبلغ ٨ إلى ٢٠٪ من القيمة المحسوبة لمواجهة الفواقد ، عند تقادم الفرن ومواسير توصيل الهواء .

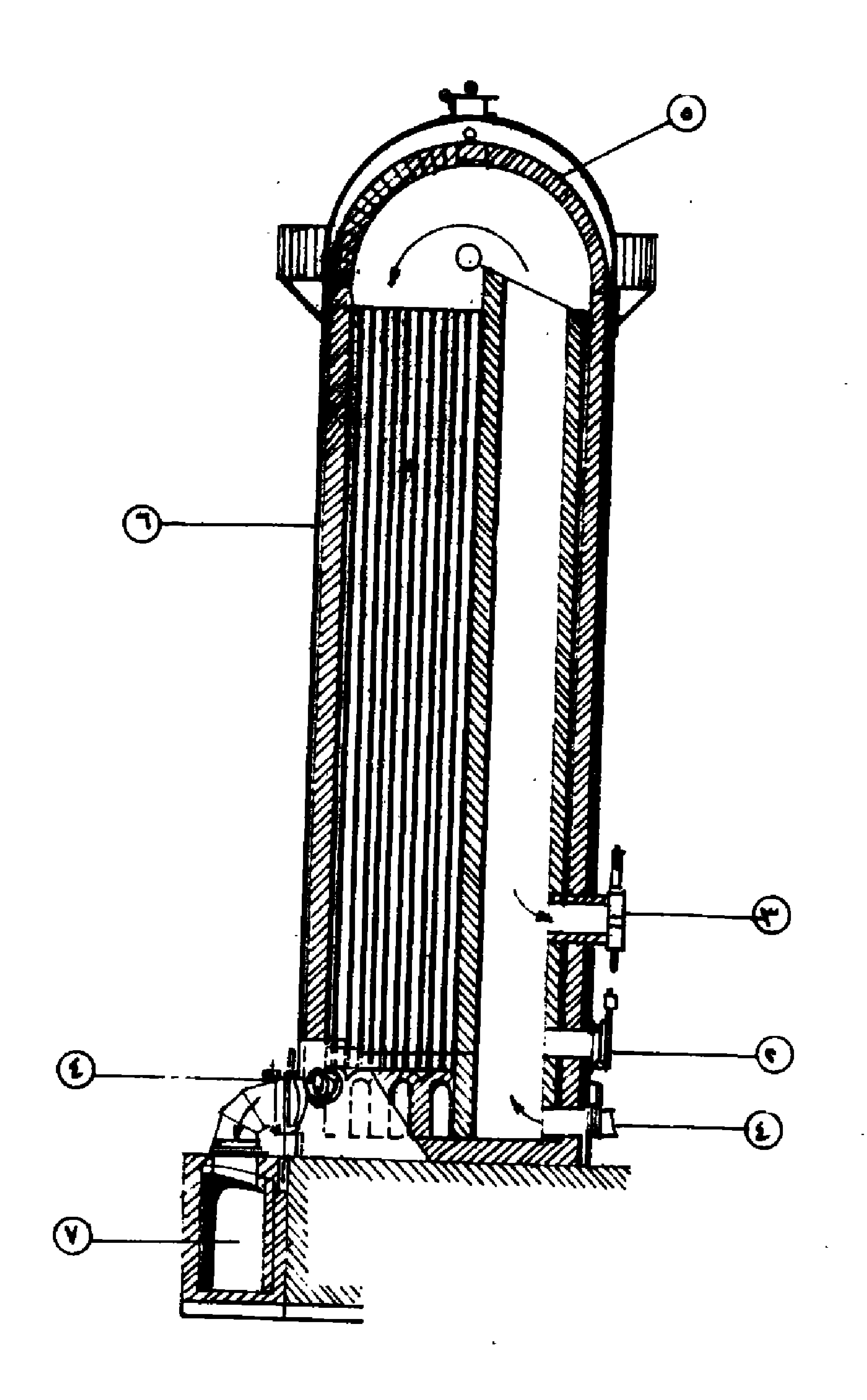
ومن المعروف أن نسبة الرطوبة فى الهواء الجوى تؤثر فى القدرة الإنتاجية للمنفاخ ، ولهذا جهزت بعض المصانع فى الأماكن التى ترتفع فيها هذه النسبة ، بمعدات لتخليص الهواء من الرطوبة العالقة به ، وحفظ نسبتها عند قدر معين (٥٪ تقريبا) .

(٢) وحدة مسخنات الهواء :

بدأ التفكير فى تسخين الهواء الداخل إلى الفرن منذ وقت طويل ، غير أنه لم ينفذ بطريقة علمية إلا فى عام ١٨٣٠ م . وقد تم ذلك بالسماح للهواء البارد بالمرور فى مواسير تسخن بالحرارة الناتجة من حرق الفحم ، وأمكن بذلك رفع درجة حرارة الهواء حتى ٤٠٠ إلى ٤٥٠° م فقط ، ولم يك ممكنا ـ فى ذلك الحين ـ رفع درجة حرارة الهواء لأكثر من ذلك ، للأضرار التى كانت تصيب المواسير .

وفى عام ١٩٥٧ ، بنى أول مسخن باستخدام الطوب الحرارى ، وكان عبارة عن غرفة مغلقة بها فتحة فى أعلاها ، وأخرى فى مستوى مرتفع من الجدار ، واثنتين فى أسفل الجدران ، تتصل إحداهما بغرفة احتراق ، يجرى احتراق الفحم بها ، ثم توجه الغازات ناتج الاحتراق إلى غرفة المسخن ، لتخرج من الفتحة العليا . ويستمر ذلك حتى ترتفع درجة حرارة طوب الجدران إلى قدر معين ، عندئذ تغلق الفتحتان المستخدمتان ، وتفتح الفتحتان الأخريان ، ليدخل الهواء البارد من الفتحة السفلى التى بجدار المسخن ، ويلامس الطوب الساخن فترتفع حرارته ، ويخرج من الفتحة الجانبية فى أعلى الجدار ، ومنها إلى الفرن ، وهكذا ، حتى تنخفض حرارة الهواء الخارج إلى الفرن ، فتعاد الدورة وهكذا .

كان ذلك فى الحقيقة هو أول حلقة من سلسلة تطوير وتحسين أداء المسخنات ، حتى أخذت شكلها المعروف حاليا . وهو عبارة عن أسطوانة من الصاج سمك ١٠ مم فى أعلاها إلى ٤٠ مم عند نهايتها السفلى . يتراوح ارتفاعها ما بين ٢٠ ، ٤٠ مترا ، وقطرها يتراوح من ٥ إلى ٦ أمتار ، تنتهى فى أعلاها بقبة دورانية ، (الشكل ١٩) .



شكل رقم ١٩ - مسخن الهواء

. وتحدد الأبعاد الرئيسية للمسخنات على أسس محددة تعتمد على تكنولوجية التشغيل ، التي يمكن تلخيصها في الآتي :

١ ـ النظريات الحرارية وانتقال الحرارة ودراسة التيارات الهوائية ، الخ .

٢ ـ نسبة الغاز للهواء المستخدمين للاحتراق .

٣ ـ الاحتراق الكامل للغاز المستخدم في التسخين .

٤ ـ مساحة سطح الطوب المستخدم ، بما يضمن امتصاص الحرارة الناجمة من احتراق غازات التسخين ، وبالتالي رفع درجة الهواء الداخل للمسخنات إلى الدرجة المطلوبة للتشغيل بالأفران .

وينقسم المسخن إلى قسمين : قسم بيضاوي الشكل يسمى « غرفة الاحتراق » ، والجزء الباقي المكمل لشكل الأسطوانة ، الذي يبنى بطوب حراري متشابك ، له أشكال هندسية مختلفة ، يوضع في صفوف متتالية بعضها فوق بعض ، بحيث تكون الفراغات الموجودة بالطوب ممرات رأسية عديدة ، تكون أسطحها المساحة المعرضة للتسخين ، والتي تعتبر *المؤشر الدال على قدرة المسخن الإنتاجية ، وتتوقف عليها كفاءته .*

وتحدد مساحة السطح هذه في الاتحاد السوفيتي بمعدل ٦٠ م٢ لكل متر مكعب من حجم الفرن النافع ، بينما تحددها الدول الغربية بمقدار ٤٠ إلى ٥٠ م٢ . وقديما كانت أبعاد هذه الممرات كبيرة . غير أن استخدام المراوح لإمداد المسخنات بهواء التسخين في عام ١٩٢٠ ، والذي مكن من زيادة كمية الغاز المستخدم للتسخين ، وبالتالي زادت سرعة التسخين ، بالإضافة إلى إمكان رفع كفاءة وحدات تنقية الغازات نسبيا ، قللا أبعاد الممرات ، فأصبحت تبلغ حاليا ٧٠ إلى ١٥٠ مم فقط ، الأمر الذي ساعد على زيادة سرعة الهواء ، وبالتالي القضاء على تكون طبقات الهواء الثابتة اللامسة لأسطح الطوب ، مما أدى إلى تحسين تسخينه ، وبالتالي رفع كفاءة المسخنات .

وتؤثر كفاءة تشغيل وحدات تنقية الغازات ، وما يستتبعها من إقلال لكمية الأتربة المتبقية في الغازات المستخدمة بالمسخنات ، على رفع قدرة الأخيرة وزيادة كفاءتها .

ذلك أن هذه الأتربة تتجمع في فتحات الطوب الشبكي وتغلقها نسبيا ، وبالتالي تؤثر على سرعة الغازات ، ناتج عمليات الاحتراق المستخدمة للتسخين ، فتقلل الوقت المتاح للتلامس وانتقال الحرارة من الغازات إلى الطوب ، وبالتالي تخفض كمية الحرارة المكتنزة به ، والتي

تسبب إطالة وقت التسخين . كما تشكل هذه الأتربة ، طبقة عازلة بين الطوب والغازات الساخنة الصاعدة ، مما يقلل من كفاءة التسخين . وهذا الأمر قد سبب عدم إمكان الإقلال من مساحة فتحات الطوب الشبكى عن الحد المبين عاليه ، خوفا من انسدادها .

وكثيرا ما تتوقف المسخنات لعمليات تنظيف فتحات الطوب الشبكى من مخلفات أتربة الغازات .

وبالاضافة إلى ما ذكر آنفاً ، فإن ما تسببه هذه الأتربة عند تراكمها فى مناطق المسخن المرتفعة الحرارة ، من تكوين لطبقة منصهرة عازلة (لا نخفاض درجة حرارة انصهارها) ، تؤدى إلى إغلاق سطح الطوب الشبكى المعرض للتسخين ، وتقلل من كفاءته ، وقد تتسبب أحيانا فى تفتيته وتشققه .

لكل ذلك ، فإن الغازات المستخدمة فى المسخنات ، يجب أن لا تحوى أكثر من ٠٥, جم لكل متر مكعب .

وتتدرج أبعاد فتحات الطوب الشبكى فى الازدياد ، كلما ارتفع المنسوب داخل المسخن ، حتى يتلاءم ذلك وزيادة حجم الهواء بالتسخين ، وكذا للمساعدة فى خروج الهواء الساخن من المسخن ، وإلا تسبب ذلك فى ضغوط مضادة على وحدات النفخ .

ونظرا لاختلاف ظروف التشغيل والحرارة لكل منطقة من مناطق المسخنات ، يبنى المسخن بطوب حرارى فى مجموعات ، تلائم خواص كل مجموعة منها الظروف المحيطة بها ، فلجوانب غرفة الاحتراق والطوب الشبكى ، يستخدم الشاموت الذى تزاد نسبة الألومينا فيه تدريجيا ، مع ارتفاع الحرارة من أسفل إلى أعلى المسخن . أما القيمة المغلقة لأعلى المسخن ، فتبنى من طوب السيليكا ، لمقاومته للحرارة العالية بسبب ارتفاع مقاومته للتميع ، رغم احتمال تعرضه للكسر وللشروخ عند تحول السيليكا من التريدميت إلى الكريستوباليت عند درجة حرارة ٥٦٠° م تقريبا ، الأمر الذى يدعو إلى الاحتياط عند بدء تسخين المسخن فى بدء تشغيله فقط ـ حيث إن درجة حرارة القبة تظل دواما بعد ذلك ، خلال عمل المسخن أعلى من هذه الدرجه .

وتفصل بين الطوب الحرارى المبطن للمسخن والصاج المغلف له ، طبقة من الطوب العازل للحرارة ، بسمك يتراوح ما بين ٦ و ١٢ سم . ويفصل بين مبانى القبة والطوب العازل فراغ يبلغ من ٣٠ الى ٥٠ سم يسمح بتمدد الطوب .

ويرتكز الطوب الشبكى على قواعد من الصلب المقاوم للحرارة والصدأ ، ترتكز بدورها على قاعدة المسخن الخرسانية . وتستعمل فى المسخن الواحد ، حسب حجمه ، كمية من الطوب الحرارى تبلغ ٨٠٠ إلى ١٤٠٠ طن . ومن المعروف أن زيادة وزن الطوب تمكن من حفظ كمية كبيرة من الحرارة . وعموما تتلخص الخواص اللازم توافرها فى طوب المسخنات ، فى القدرة على تحمل درجات الحرارة العالية ، وانخفاض المسامية ، وقوة الاحتمال للتغيرات فى درجات الحرارة .

ويجهز كل مسخن بخمس فتحات (شكل ١٩) ، يركب على كل منها صمام (بلف) محكم ، يختلف تصميمه حسب موضعه ، مهمته إحكام إغلاق الفتحة المركب عليها فى حالة عدم استخدامها . وهذه الصمامات هى :

(ا) صمام الهواء البارد الآتى من محطات النفخ . (مدخل الهواء الداخل إلى المسخن) .

(ب) صمام الهواء الساخن . . . . (مخرج الهواء اللافح إلى الفرن) .

(ج) صمام العادم . . . (مخرج الغازات الناتجة من الاحتراق) .

(د) صمام هواء الاحتراق . . . (اللازم لإشعال الغازات وحرقها) .

(هـ) صمام غاز الاحتراق . . . (لإدخال الغازات اللازمة للحريق) .

تشغيل المسخن :

تتكون دورة تشغيل المسخن من مرحلتين :

١ ـ مرحلة الإعداد أو التسخين .

٢ ـ مرحلة النفخ .

وتستغرق الدورة الكاملة ما بين ساعة وساعتين ، حسب درجة الحرارة المطلوبة للهواء اللافح ، وحسب مساحة سطح المسخن ، وحسب عدد المسخنات الملحقة بالفرن ، وأخيرا حسب ظروف تشغيل الفرن .

(١) مرحلة الإعداد أو التسخين :

تبدأ مرحلة الإعداد أو التسخين ، بأن يفتح صمام العادم الموصل إلى المدخنة ، الذى يفتح على مرحلتين ، لتفريغ المسخن مما به من هواء ، عن طريق سحبه خلال المدخنة ، ثم يتبع ذلك بفتح صمام هواء الاحتراق ، وأخيرا صمام الغاز . وتضبط كمية الغازات المحترقة ، وكمية الهواء التى تكفل الاحتراق الكامل لها ، وهما مرتبطان أوتوماتيكيا . ومع مرور

الوقت ، تزداد كمية الهواء والغازات المستخدمة ، وتزداد نسبة الهـواء الإضـافية ـ زيادة عن المقدار اللازم للاحتراق الكامل للغازات ـ عن طريق منظمات خاصة ، حـتى تصـل درجـة حرارة طوب قبة المسـخن إلى درجـة معينة ، (١١٥٠ إلى ١٢٠٠° م) . ومع ارتفـاع درجـة حرارة طوب المسخن ، ترتفع درجة حـرارة الغـازات الخـارجة من صمام العـادم (ناتج الاحتراق) ، وتبلغ ٢٠٠ إلى ٢٥٠° م عادة عند الوصول إلى نهاية المرحلة . ويكون المسخن عند الحد ، قد استنفد كمية الهواء الإضافية والتي تبلغ نصف كمية الهـواء المستخدمة عند بدء التسخين . عند ذلك يتم إيقـاف التسـخين ، وتغلق البلوف المفتوحـة في اتجـاه عكس المذكور آنفاً ، وبهذا تنتهى مرحلة الإعداد أو لتسخين .

(٢) مرحلة النفخ :

تبدأ مرحلة النفخ مباشرة بعد انتهـاء التسـخين ـ في العـادة ـ حيث يفتح بلف الهـواء البارد ، حتى يملأ المسخن بالهواء ، ويتساوى ضغط الهـواء داخـل المسـخن مع الضـغط الخارجى الواقع على صمام (بلف) الهواء السـاخن (من ماسـورة الهـواء السـاخن) ، ثم يفتح الأخير ليسمح بمرور الهواء الساخن من المسخن إلى ماسورة الهواء الساخن إلى الفرن

في مرحلة النفخ بالتسخين ، تنتقـل الحـرارة من الطوب إلى الهـواء ، إما بالتلامس ، وإما بالإشعاع ، وإما بالتوصيل . ولهذا تحدد كمية الهـواء الداخلة للمسـخن ، بما يحقـق الهـدف المنشود ، حيث إن كمية الهـواء الأقل تتولد عنهـا طبقـة تكاد تكون ثابتة بجـوار الطوب لا تتحرك ، وبالتالى تؤثر على توصيل الحرارة إلى الطبقات الأخـرى إلى الداخـل . كما أن زيادة كمية الهواء ، بسبب زيادة سرعته خـلال المسـخن ، وبالتالى إقلال وقت التلامس مع الطوب . بالإضافة إلى ما تسببه زيادة سرعة الهواء ، من منع لتكوين الدوامات الهوائية التى تساعد في تسخين الطوب .

ونظراً لأن الفرن يعمل بدرجـة حـرارة ثابتة للهـواء اللافح عادة ، وأنه مع بدء النفـخ خلال المسخن بعد تسـخينه مباشرة تكون درجـة حـرارة الهـواء اللافح ـ غالبا ـ أعلى من المطلوبة ، فلقد تم توصيل ماسورة للهواء البارد من محطة النفاخات ، يحكمهـا صمام متحـرك (بترفلاى) ، يسمح بإدخال كمية من الهـواء البارد ، تختلط بالهـواء السـاخن الخـارج من المسخن ، ليكون لناتجهما درجة حرارة تساوى درجة الحرارة المطلوبة . ومع اسـتمرار النفـخ

وانخفاض درجة حرارة الطوب داخل المسخن ، وبالتالى انخفاض حرارة الهواء الخارج منه ، يغلق البلف المتحرك على ماسورة الهواء البارد تدريجيا ، حتى نهايته ، وبالتالى يمنع السماح لأى هواء بارد بالمرور ، ويكون ذلك بمثابة الإشارة إلى نهاية مرحلة النفخ ، وضرورة إعادة التسخين ، فيمنع النفخ وتبدأ دورة التسخين وهكذا .

ويجهز كل فرن عادة بمسخنين أساسيين ، وثالث احتياطى لهما ، أو أربعة فى حالات *الأفران الكبيرة ، وللحاجة إلى درجات الحرارة العالية ، الأمر الذى يمكن من زيادة فترة* مرحلة التسخين بالقياس إلى مرحلة النفخ . وعليه فبمجرد إغلاق زاوية الخلط بالمسخن العامل ، يبدأ فورا فى تشغيل المسخن الآخر الذى تم تسخينه ، ولا يسمح بتوقف المسخن العامل أبدا ، إلا بعد بدء العمل بالمسخن الثانى ، والتأكد من سلامته ، وعدم وجود أى خلل به .

ونظرا لحساسية تشغيل المسخنات ، وأثرها الاقتصادى المباشر على الأفران ، ولخطورة طبيعة العمل ، تجهز غرفة مراقبة المسخنات ـ أو غرفة مراقبة الفرن ـ بالعديد من الأجهزة والمقاييس ، التى توضح للعاملين كل المراحل المختلفة ، والتى قد تربط كل منها بالأخرى أوتوماتيكيا .

ولكل مسخن بهذه الغرفة ، الأجهزة التالية :

١ ـ جهاز قياس وتسجيل لدرجة حرارة الهواء الساخن الخارج من المسخن .
٢ ـ جهاز قياس وتسجيل لدرجة حرارة العوادم .
٣ ـ جهاز قياس وتسجيل لدرجة حراريات القبة .
٤ ـ جهازان لقياس وتسجيل كمية الغاز ، وكمية الهواء فى مرحلة التسخين .
٥ ـ جهاز لتحديد كمية الغاز إلى كمية هواء الاحتراق (محدد بنسبة ١ إلى ١,٥ مثلا) .
٦ ـ جهاز يبين كمية الهواء الإضافية ، و الذى يبدأ عمله بعد وصول القبة أقصى درجة حرارة مسموح بها .

أما الأجهزة الموجودة الخاصة بمراقبة الأفران والتنسيق معها ، فهى :

١ ـ جهاز يقيس ويسجل درجة حرارة الهواء الداخل للفرن (بعد خلطه بالهواء البارد) .
٢ ـ جهاز يقيس ويسجل كمية الهواء الداخلة للفرن .
٣ ـ جهاز يبين ضغط الهواء البارد .

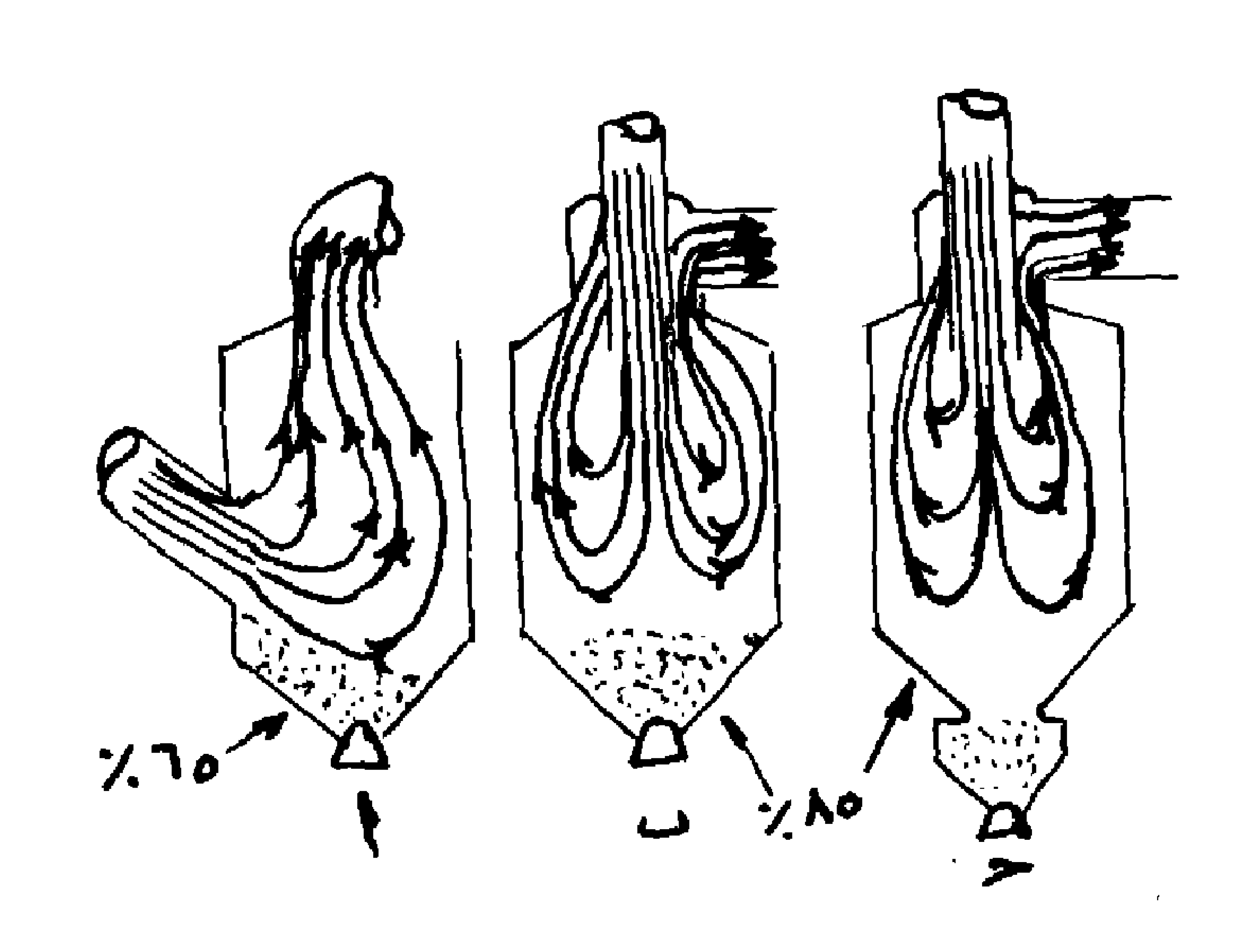
٤ ـ جهاز يبين مقدار زاوية فتح بلف هواء الخلط .

أجهزة إضافية :

١ ـ جهاز يبين ضغط الغاز فى شبكة الغاز النظيف بالمصانع .

٢ ـ أجهزة اتصال مباشرة بوحدات نفخ الهواء ومحطة الغازات وبالأفران والمصانع .

ويجهز كل مسخن بفتحتين فى أسفل جدران غرفة الاحتراق ، وبفتحة أخرى فى غرفة الطوب الشبكى ، وأربع فتحات فى أعلى قة المسخن تحت القبة ، لا ستخدامها فى عمليات التنظيف والترميم للبطانات ، والكشف الدورى على الحراريات .



شكل رقم ٢٠ ـ يبين كيفية تنقية الغازات من الأتربة بتجمعات وحلزونات الأفران ـ تنقية جافة
(لاحظ نسبة كفاءة كل نوع بالأرقام)

٣ ـ وحدة تنقية غازات الأفران العالية :

تخرج الغازات من أعلى الفرن العالى ، حاملة معهـا كميات كبيرة من الأتربة ذات الأحجام الناعمة ، التى يمكن للغازات ، فى اندفاعها خارج الفرن ، أن تحملها . وتتكون هذه الأتربة من خليط من خام الحديد ، والحجر الجيرى ، والكوك ، والمشحونات الأخرى . وتختلف أحجام هذه الأتربة من بضع ميكرونات حتى ٢ مم ، وربما أكبر ، تبعا لقيمة ضغط غاز الأفران .

وحيث أن هذه الغازات تترك الأفران بدرجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠ و ٣٠٠° م ، وهى بتكوينها الكيميائى ، تحوى نسبة من غاز أول أكسيد الكربون تبلغ ٢٧ إلى ٣٠٪ ، أى أنها تحوى طاقة حرارية كبيرة تقدر بحوالى ٤٥ إلى ٥٠٪ من إجمالى الطاقة الحرارية للكوك المشحون بالأفران ، ونظرا للصعوبات العملية التى تسببها هذه الأتربة عند عمليات احتراق غازات الأفران لذا ينبغى تنقية هذه الغازات من الأتربة العالقة بها .

وتتم عملية التنقية هذه فى خطوات متعاقبة ، تتم كلها بوحدة « تنقية الغازات » الملحقة بالأفران العالية . ونظرا لتباين أحجام الأتربة العالقة ، وللوصول إلى درجة التنقية المطلوبة للغازات ، فلقد قسمت العملية الى مرحلتين :

١ ـ التنقية الأولية أو المبدئية .

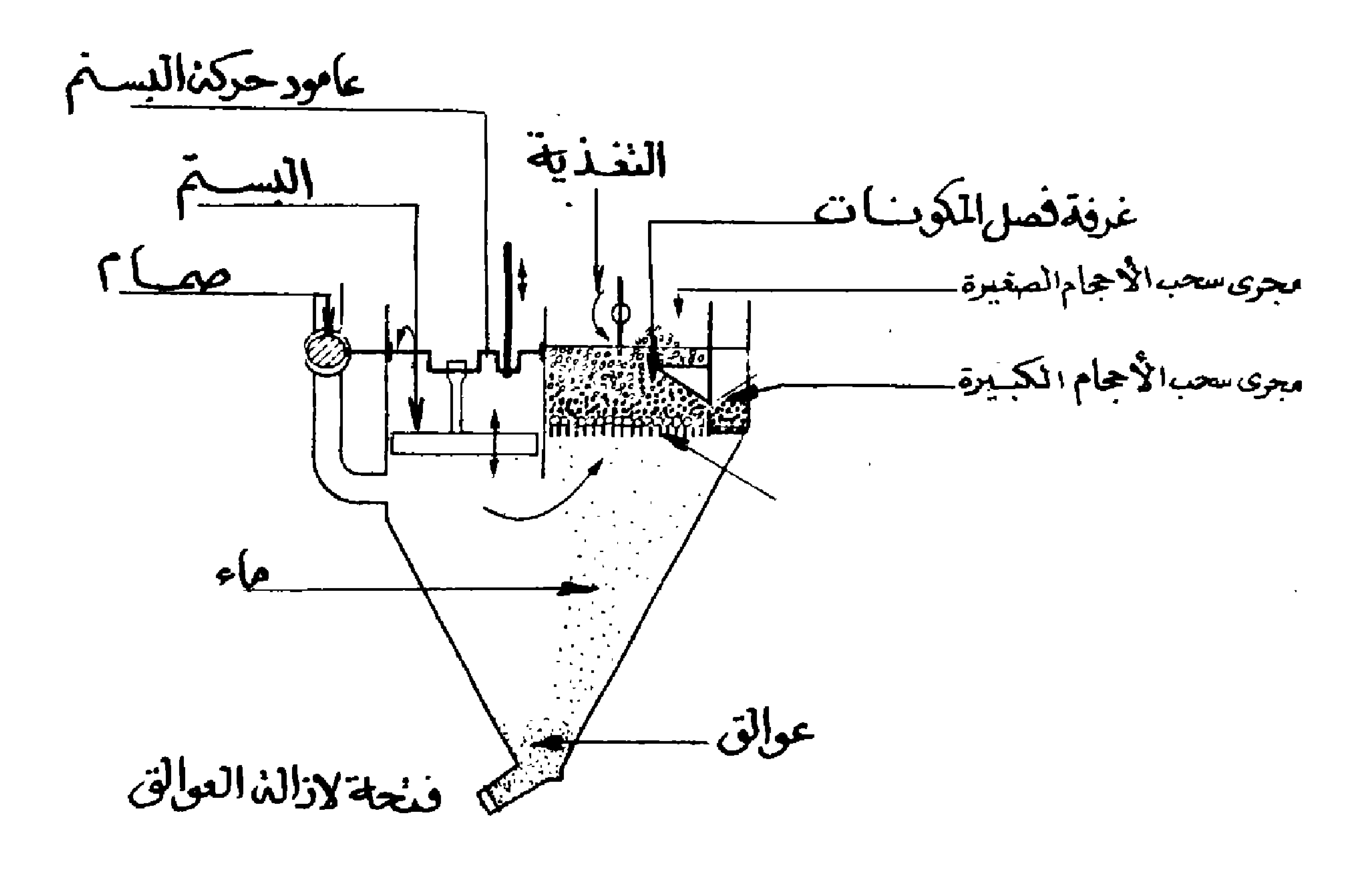
٢ ـ التنقية الدقيقة .

١ ـ التنقية الأولية أو المبدئية :

ويتم فى هذه المرحلة تنقية الغازات باستخدام طرق جافة ، حيث يتم فصل حوالى ٩٠٪ من كمية الأتربة الاجمالية فى الغازات الخارجة من الفرن . وتستخدم فى هذه المرحلة المعدات التالية :

(ا) مجمع الأتربة :

وهو عبارة عن جسم أسطوانى من الصاج ، (شكل ٢٠) ، بقطر ٦ إلى ٨ أمتار ، مغلق بمخروطين من أعلاه ومن أسفله ، ويبلغ ارتفاعه ما بين ١٠ إلى ١٥ مترا ، يجهز فى أسفله فى نهاية المخروط ، بفتحة لسحب الأتربة المتجمعة فيه مباشرة ، أو عن طريق مكنة سحب خاصة . وينتهى المخروط فى أعلاه ، بشكل أسطوانى به فتحة جانبية لخروج الغازات بعد تنقيتها . وباستخدام جرس من الزهر المهاتيق ، يمكن إغلاق هذا الجزء الأسطوانى ، وبالتالى



شكل رقم ٢١ - جهاز فصل مكونات الخامات حسب وزنها

فصل الفرن عن شبكة غازات المصانع • وتدخل الغازات إلى المجمع عن طريق فتحة جانبية : هي نهاية ماسورة التجميع لمواسير مآخذ الفرن (البنطلون) .

وتبنى نظرية العمل بمجمع الأتربة ، على الأثر الذى يخلفه تغيير اتجاه الغازات أو انعكاسه ، مع الإقلال من سرعتها نتيجة تعرضها لزيادة مفاجئة فى حجم المكان الذى تشغله ، من خفض لقدرتها على حمل الأتربة ، وبالتالى تساقط هذه وتجمعها بأسفل المجمعات .

وتجهز مجمعات الأتربة بصمامات أمن « تسمى بوابات الانفجار » ، تفتح تلقائيا عند بلوغ الضغط داخل المجمع قدرا معينا ، بحيث تسمح بخروج دفعة من الغازات ، ثم تعود إلى وضعها الأصلى تلقائيا ، وذلك تحاشيا للأضرار التى قد تنجم عن زيادة الضغط ، دون إيجاد وسيلة لتخفيفه . كما تجهز المجمعات بفتحات أخرى لطرد الغازات (عادة فى أعلاها) ، لا ستخدامها عند فصلا أو ربط المجمع بشبكة الغازات ، مع بدء تشغيل الفرن عقب فترة توقف طويلة ، أو عند إجراء الصيانات أو العمرات به .

وقد يبطن المجمع بطوب حرارى حماية له ، ووقاية من درجات حرارة الغازات العالية ، غير أن هذا الاتجاه قد قل أخيراً ، لعدم الحاجة إليه مع درجات الحرارة الحالية للغازات .

وتركب عادة رشاشات بخار أو مياه على مآخذ التراب ، أو بداخل المجمع . غير أن ذلك يسبب العديد من المشاكل ، بسبب تكون طبقة من الطين الجاف على جوانب المجمع أحيانا ، تغلق جزءا منه ، وقد تتسبب فى توقفه .

ويحدد حجم مجمع الأتربة بما يتناسب وحجم الأتربة المجمعة ، وبحيث لا تتعدى سرعة الغاز داخله ٠,٨ متر لكل ثانية . ونظرا لطبيعة عمل المجمع ، والهدف منه ، ونظرية تشغيله . فيمكن أن يأخذ مخرج الغاز أو مدخله أحد الأشكال المحددة بالشكل (٢٠) .

(ب) الحلزونات :

تغادر الغازات مجمع الأتربة ، حاوية بعض الأتربة ذات الأحجام التى لم يتم فصلها فيه ، ولهذا فإن غالبية مصانع العالم تجهز وحدة التنقية بها بما يسمى « الحلزونات » ، الشكل (٢١) . وهى عبارة عن جسم أسطوانى بقطر من ٣ إلى ٤ أمتار ، وارتفاع من ١٠ إلى ١٢ متراً .

وتعتمد نظرية تشغيل الحلزونات ـ كالمجمعات تماما ـ على خفض قدرة الغازات على حمل ما بها من عوالق عند تغيير مسارها ، أو خفض سرعتها . وعليه تدخل الغازات من فتحة جانبية بأعلى الحلزون ، ملامسة لسطحه الداخلى ، فتأخذ حركة دورانية تقلل من سرعتها وطاقتها على حمل أحجام من الأتربة فوق حجم معين ، وبذا تنفصل هذه عن الغازات التى تخرج بدورها عن طريق ماسورة أسطوانية متمركزة فى منتصف الحلزون ، إلى خارج الحلزون ، ليعاد إدخالها فى حلزون آخر ، ليعاد عليها إجراء نفس العملية .

وتغادر الغازات الحلزون الأخير ، حاملة معها قدرا من الأتربة والعوالق تحوى تقريبا ٤ م لكل م^{٣} ، وهو قدر أعلى من المسموح بوجوده فى الغاز النقى ، وبالتالى تدخل الغازات إلى مرحلة التنقية الدقيقة .

٢ ـ التنقية الدقيقة :

تحدد كمية العوالق بالغاز النقى ، بمقدار لا يتعدى ٠٠٥ر و ٠١٠ر كيلو جرام لكل متر مكعب ، وتحمل الغازات بعد معاملتها بالتنقية المبدئية ، قدرا أكثر من هذا . ومن هنا برزت دقة وحساسية العمل بمرحلة التنقية الدقيقة التى يمكن اتمامها بإحدى الطرق الآتية :

(ا) التنقية المبللة .

(ب) التنقية الجافة .

(ج) التنقية الكهربائية .

(ا) التنقية المبللة :

تتلخص هذه الطريقة ، فى تعريض الغازات بما تحويه من عوالق لرذاذ من الماء ، وبذا يتكون غلاف رقيق من الماء على السطح الخارجى للأتربة والعوالق ، فيزداد وزنها ، ولا تستطيع الغازات حملها ، فتسقط وتتجمع على هيئة طينة ، يمكن بعد ذلك فصلها وإبعادها . ويستخدم فى هذه الطريقة أبراج غسيل ، الشكل (٢٢) ، خاصة يبلغ ارتفاع الواحد منها من ١٠ إلى ١٢ مترا ، وقطره من ٣ إلى ٤ أمتار ، مجهزة من الداخل بمجموعة من الأرفف الخشبية ، المكون كل منها من مجموعة من القضبان الخشبية تعترض سير الغازات ، وبالتالى يتم « تقليبها ومزجها » وخفض سرعتها . ومن خلال مجموعة مواسير مركبة على السطح الداخلى للبرج ، يصل الماء إلى أدشاش ، يخرج الماء منها معترضا مسار

برج الغسيل
مدخل مياه الغسيل
الأوشاش
التنظيف
الى شبكة الغاز
ماسورة الغاز غير النقي
برج تجفيف
المختزل
المياه المحملة بالأتربة

شكل ٢٢ - التنقية المبللة

الغازات الصاعدة من أسفل البرج إلى أعلاه ، وهكذا تتم عملية تبريد الغاز وتجميع الأتربة العالقة به ، لتخرج من أسفله مع الماء إلى أحواض الترسيب ، لتنقية المياه منها ، ثم إعادتها ثانية إلى التشغيل وذلك للإقلال من استهلاكها .

ويغادر الغاز ، الذى تم تنظيفه بهذا القدر ، أعلى البرج حاويا من ٢, إلى ٨, جم من الأتربة ، بكل متر مكعب غاز .

ويدخل الغاز بعد ذلك إلى « مكنة الاختزال » ، وهى عبارة عن مروحة تدور بسرعة كبيرة ، محور دورانها مجهز بثقوب يخرج منها الماء المضغوط ، ليختلط مع الغاز خلال دورانه بالمختزل ، وبالتالى تبلل بقايا الأتربة العالقة بالغاز بالماء ، ثم يخرج ذلك الغاز الرطب ليواجه أسطح « فاصل الماء » المائلة ، فيفقد جزءا كبيرا من رطوبته ، ويخرج من أعلاه إلى مواسير الغاز النقى .

وتبلغ معدلات استهلاك المياه بالغسالات ما بين ٤ و ٦ لتر / م^3 من الغاز ، وى المختزل يبلغ ذلك من ٧ إلى ١٨ لترا ، لكل م^3 من الغاز .

ويحتوى الغاز المنقى بهذه الطريقة ٠,٠٨ - ٠,٠١٢ جم لكل م^3 من الغاز .

(ب) التنقية المجففة :

فى هذه الطريقة ، يدخل الغاز إلى قرات مغلقة من أعلاها ، تصنع جوانبها من قماش قطنى ، فتتراكم الأتربة على القماش ، ويمكن سحبها بعد ذلك . وتكون كل ٣٠ إلى ٣٥ من هذه القمرات وحدة منظف ، وتتجمع كل ١٠ إلى ١٢ من هذه المنظفات معا ، لتكون وحدة تنقية كاملة .

وحيث أن درجة حرارة الغازات ـ فى حالتها الطبيعية ـ قد تسبب احتراق الأقمشة المستخدمة ، لذا وجب تبريد الغاز قبل إمراره بالقمرات ، وخوفا من أن تتسبب الرطوبة التى يحويها الغاز ، نتيجة لذلك ، فى إغلاق فتحات الأقمشة القطنية ، لذا يعاد تسخين الغاز بعد تبريده لدرجة حرارة أعلى من ١٠٠° م ، حتى تظل الرطوبة الموجودة بالغاز على هيئة بخار ولا تتكثف . واستخدام هذه الطريقة ـ لهذا السبب ـ محدود جدا .

(جـ) التنقية الكهربائية :

وتعتمد هذه الطريقة ، والتى تم استخدامها سنة ١٩١٠ لأول مرة ، على تأين الغازات المارة فى مجال دائرة كهربائية بضغط عال ، حيث تكتسب أتربة الغازات خلال مرورها وملامستها لقطب موجب ، شحنة كهربائية موجبة ، وعند مرورها على القطب السالب

المعترض لمسارها ، تتراكم عليه ، ويمكن تجميعها بعد ذلك من خلال فتحات بماكينة سحب أسفل المنظف .

وتحدد سرعة مرور الغازات ، بحيث لا تزيد على ٨ر إلى ١٠ر١ متر كل ثانية ، وذلك حتى يمكن الحد من عدد مواسير القطب الموجب ، حيث أن زيادتها عن المطلوب تعطل فاعليتها . كما يجب أن تزيد الرطوبة على ٥٠ إلى ٦٠ جم لكل متر مكعب .
وعادة ما يسبق عملية التنقية الكهربائية ، غسيل للغاز فى غسالات تشبه النوع المستخدم فى حالة التنقية المبللة ، لكن بدون المعترضات الخشبية .

وهنالك رأى آخر يعلل ما يحدث ، بأن الغازات التى تحمل مواداً شائبة بها عند مرورها فى أنبوبة بين قطبين كهربائيين أحدهما يحمل ضغطا عليا ، والآخر موصل بالأرض ، فإنه وكنتيجة لقوة المجال الكهربائى ، تتأين هذه الغازات ، وتتجه الأيونات الموجبة إلى القطب السالب والعكس ، وهى عند انتقالها تنقل معها ذرات التراب التى تقابلها ، وتجمعها على سطح الأنبوبة .

وكثيرا ما يجمع بين غسيل الغاز والفصل الكهربائى ، للوصول إلى أعلى درجات تنقية للغاز من الأتربة والعوالق .

وبالانتهاء من عمليات التنقية ، يدفع الغاز عادة إلى خزان الغاز الذى يؤدى وظيفتين رئيسيتين :

١ ـ حفظ الضغط فى شبكة الغاز النظيفة بالمصانع .
٢ ـ مقابلة أى زيادة فى الاستهلاك ، أو أى عطل فى إنتاج الغاز . (لتوقف فرن فجأة ، الخ .) .

وهو عبارة عن جسم أسطوانى من الصاج الملفوف ، بارتفاع يصل إلى ٣٠ مترا ، يتحرك بداخله « بستم » يتصل بمؤشر للدلالة على كمية الغاز الموجودة بالخزان ، وفى نهاية الخزان العليا ، توجد فتحات تهوية تعمل فى تصريف الغاز إلى الجو عند امتلاء الخزان ، نتيجة ضغط الغاز عليه إلى أعلى . وارتفاع مستوى البستم عن مستواها ، مانعة بذلك للبستم من الخروج عن مكانه .

ومن خزان الغاز، يخرج الغاز النق إلى أماكن الاستهلاك بالمصانع وأهمها:

١ ـ مسخنات الهواء للأفران العالية وتستهلك حوالى ٣٠٪ منه

٢ ـ محطات توليد الطاقة (كهرباء ـ بخار) وتستهلك حوالى ٤٠٪منه

٣ ـ أفران التخمير والأفران الغاطسة والدافعة وأفران حرق الجير. الدولوميت، الخ. وتستهلك حوالى ١٠٪ منه

٤ ـ بطاريات إنتاج الكوك وتستهلك حوالى ١٥٪ منه

٥ ـ بقية وحدات المصانع وتستهلك حوالى الباقى.

٤ ـ وحدة أحواش التشوين وصوامع الخامات:

تتعامل الأفران العالية، مع العديد من الخامات المختلفة فى خواصها الفيزيقية والكيميائية، ويتطلب التشغيل السليم للأفران، ضرورة الهيمنة التامة على كل مشحون بها كما ونوعا، وبهذا كان من الضرورى تزويد الأفران بأماكن يتم تشوين هذه الخامات بها، منفصلة كل منها عن الأخرى تماما. ويتم ذلك فى وحذة الصوامع وأحواش التشوين التى يلزم وجودها أقرب ما يكون إلى الأفران، والتى يراعى ضرورة ربطها بشبكة النقل الداخلى والخارجى للمصانع. ويتحدد حجم هذه الوحدات تبعا لظروف عديدة نذكر منها:

(ا) مصادر الخامات

يتطلب التشغيل المنتظم بالأفران، ضرورة توافر الخامات المختلفة دواما، وبالتالى يؤخذ دائما فى الاعتبار، حجم الطلبيات، وحجم الاحتياطى اللازم وجوده بأحواش التشوين، واللذان يرتبطان ارتباطا وثيقا بالوضع الجغرافى لمصدر الخامة، ووسيلة النقل المستخدمة فى نقلها، وظروف توافرها.

ومن الخطأ الشائع، إعطاء الأهمية للخامات المستوردة، ذلك أن كل الخامات تتساوى فى درجة أهميتها بالنسبة للتشغيل. ولذلك يجب أن تعد بمصانع الحديد والصلب، ـ بكل وضوح مع مراعاة كل الظروف الحقيقية ـ خطة زمنية متكاملة، للحصول على هذه الخامات، تحدد بها الكميات، والمواصفات، ومواعيد التوريد، ومعدلات الوصول إلى المصانع.

وعليه، فإذا كان مصدر الخامة يشكل متاعب تحد من إمكانية الحصول عليها، لزم أن يزاد حجم الطلبية، وكذا حجم التخزين، وبالتالى حجم أحواش التشوين والعكس.

(ب) الطاقة الإنتاجية للأفران :

لكل مصنع من المصانع طاقة إنتاجية محددة ، ومن المعروف مسبقا معدلات الاستهلاك من الخامات بالوحدات الإنتاجية به ، وبالتالى تتحدد سعة وحجم أحواش التشوين تبعا لذلك ، ويجب أن تراعى احتمالات التوسع مستقبلا فى هذه الطاقة التصميمية ، سواء بإضافة وحدات جديدة ، أو برفع كفاءة استغلال الوحدات الأصلية ، أو نتيجة التقدم التكنولوجى للعمليات ، وازدياد خبرة العاملين . وعليه ، يجب دواما مراعاة ذلك عند تصميم أحواش التشوين ، بحيث يمكن بتعديلات بسيطة ، أو بإضافات محدودة ، زيادة طاقاتها التخزينية .

(ج) خواص الخامات :

تختلف الخامات كما ذكر من قبل ، فى خواصها ، ويؤخذ ذلك فى الاعتبار فى حساب شحنة الفرن . وعليه يجب أن تراعى عند تشوين هذه الخامات المحافظة عليها ، فمثلا فى حالة استخدام الخامات الهشة السهلة الكسر والتفتت ، يراعى بقدر الإمكان ، الإقلال من عمليات الشحن والتفريغ ، حتى لا ترتفع نسبة الفواقد فيها ، وبسبب ذلك ، فإن الخامات الناعمة يجب أن تشون فى الصوامع مباشرة ، للحفاظ عليها من الاختلاط بغيرها ، وبالتالى ذبذبة تحاليلها . وتلعب هذه المواصفات جميعها ، دورا أيضا فى تحديد حجم وسعة وتصميم هذه الوحدة .

(د) طبيعة العمليات التى تتعرض لها الخامات :

لا شك فى أن رفع كفاءة شحنة الأفران ، مؤشر بالغ الأهمية فى اقتصاديات التشغيل ، ويعتبر الوصول إلى تجانس مكوناتها ، من مبادىء رفع كفاءة الشحنة . وحيث أن الخامات تصل إلى المصانع فى شكل دفعات متعددة تتفاوت فى تحاليلها وخواصها ، لذا يلزم إجراء عمليات تجانس صناعية لها ، تتلخص فى فرش الخامة على هيئة صفوف متعاقبة أفقيا ورأسيا ، ثم سحبها مقطعا مقطعا ، من إحدى نهايات الكوم الذى تم تجنيسه حتى نهايته الأخرى . لهذا لزم دواما أن تدرس خواص هذه الخامات أصلا ، والعمليات التى تتم عليها ، لتجهيزها وتجنيسها قبل شحنها بالفرن ، الأمر الذى يتطلب تحديد المكان اللازم لإجراء مثل هذه العمليات ، وبالتالى تحديد حجم وسعة وحدة التشوين والصوامع .

(هـ) حجم الاحتياطي من الخامات :

لا ستمرار التشغيل المنتظم بالأفران ، ولإمكان إجراء عمليات الإعداد والتجنيس للمشحونات ، ولمقابلة أية ظروف اضطرارية خارجة تمنع وصول شحنات الخامات بعضها أو كلها إلى المصانع ، يراعى دواما تحديد حجم احتياطى لكل خامة ، حسب الظروف التى تحيط بعمليات الحصول عليها ـ كما ذكر آنفاً ـ تراعى فيها الظروف المتكاملة .

وبالإضافة إلى ذلك ، ولتسهيل الإجراءات الإدارية اللازمة للحصول على هذه الخامات ، وإعطائها الوقت اللازم لإنهائها ، وجب تحديد ما يسمى بالحد الأدنى للمخزون ، وحد الطلب ، والرصيد الحرج . . . الخ . الخ . وتختلف مصانع العالم فى تحديد هذه الحجوم حسب ظروفها الخاصة ، ولكن اتفق الجميع تقريبا ، على أن يكفى المخزون ـ فى أى وقت ـ تشغيل الأفران لمدة ١٥ يوما للخامات المحلية و ٣٠ يوما للخامات المستوردة .

وهذا ولا شكل ، يحدد بالتالى المساحات اللازمة من أحواش التشوين .

وسائل النقل المستخدمة فى نقل الخامات :

تستخدم وسائل النقل المختلفة فى نقل الخامات من مصادرها إلى المصانع ، وقد تعرض العديد من الباحثين لتحديد مدى اقتصاديات هذه الوسائل تحت ظروف النقل المختلفة ، وأمكن تلخيص نتائجهم كالآتى :

١ ـ **السكة الحديدية** : تستخدم فى نقل الكميات الكبيرة ، ولمسافات طويلة .

٢ ـ **النقل النهرى** : يستخدم فى نقل الكميات الكبيرة ، ولمسافات طويلة أو متوسطة .

٣ ـ **النقل البرى** : باستخدام السيارات فى كميات صغيرة ، ولمسافات محدودة .

٤ ـ **السيور والأسلاك الطائرة** : للكميات الكبيرة ، ولمسافات صغيرة .

ومنه يتضح أن الوسيلتين الأولى والثانية ، هما أفضل الوسائل للنقل من خارج المصانع وإليها .

أما فى نقل الكوك ، من البطاريات المجاورة عادة لمصانع الحديد ، فتستخدم السيور الناقلة . وتستخدم فى حالة النقل بالسكك الحديدية ، عربات ذات تصميم خاص تفتح أوتوماتيكيا ، أو مجهزة بروافع هيدروليكية ، يتم تشغيلها عن طريق القاطرة ، تميلها بزاوية تكفى لسقوط مشحوناتها فى أماكن التشوين . وتستخدم حديثا للإسراع فى عمليات التفريغ ،

عربة تفريغ القطارات الثابتة ، أو تلك التى تتحرك على قضبان خاصة بطول أحواش التشوين ، تقوم هذه بواسطة أجهزتها الميكانيكية ، بحمل عربة القطار المحملة بالخامات ، وقلبها بأحواش التشوين ، ثم إعادتها فارغة لوضعها ثانية على قضيب السكك الحديدية ، حيث تسحب بعيدا ، وتتقدم العربة التى تليها للمكان المحدد فى « عربة تفريغ » القطارات ، وهكذا . وتفرغ هذه العربة ٣٠ عربة فى الساعة ، الأمر الذى يسهل إمكانية التعامل مع الكميات الضخمة من الخامات الواردة . وفى حالة ثبات العربة ، تلق حمولتها إلى صوامع مجاورة لها ، تسحب الخامات منها عن طريق سيور خاصة ، إلى أماكن تشوينها بأحواش التشوين .

وفى حالة النقل المائى ، تقوم الأوناش الضخمة بتفريغ حمولة الوحدات المستخدمة مباشرة فى أحواش التشوين ، التى تبنى عادة بجوار الميناء ، أو تقوم بتفريغ حمولتها فى بناكر ، يسحب منها عن طريق سيور ناقلة ، إلى أماكن التشوين . وفى حالات قليلة ، وحيث توجد أحواش التشوين بعيدة عن الميناء ، تستخدم عربات السكك الحديدية فى نقل الخامات إلى هذه الأحواش .

وتجهز المصانع بمحطة استقبال للخامات ـ عادة ـ يتم بها فرز الخامات وتصنيفها ووزنها . وتعتبر هذه المحطة أول مراحل « النقل الداخلى بالمصانع » ، حيث يتم تدفيعها بقاطرات خاصة ، إلى أحواش التشوين عن طريق « الجسر العالى » الذى يرتفع منسوبه تدرجيا عن مستوى قضبان السكك الحديدية بمحطة الاستقبال ، إلى مستوى قضبان السكك الحديدية أعلى صوامع الأفران العالية ، التى تبنى فى مجموعات متجاورة فى صفوف متوازية . حيث يعلو كل صف منها قضيب سكك حديدية متشعب م القضيب الرئيسى على الجسر العالى ، بحيث يمكن تفريغ عربات القطارات بها ، أو بحوش التشوين مباشرة .

وصوامع التشوين تبنى من الخرسانة المسلحة ، بحيث تميل جوانبها وقاعدتها فى اتجاه فتحات نهايتها السفلى ، التى تغلقها سدادات مختلفة التصميم ، تعتمد فى عملها على وزنها الذى يسبب إغلاقها المحكم للفتحة . وعند الحاجة إلى تفريغ الخامات ، ترفع هذه السدادات بروافع هيدروليكية (فى عربات تسمى عربات الميزان) ، وبعد الحصول عى الكمية المحددة ، تهبط الروافع الهيدروليكية لتسقط السدادة بتأثير ثقلها ، وتغلق الفتحة .

ولقد تعدد تصميم هذه السدادات ، فنه النوع الأسطوانى ، ومنها النوع المنزلق الأبواب ،

ومنها النوع المجهز بسيور معدنية تتحرك أسفلها ، وهى جميعهـا وان اختلفـت فى التصـميم ، إلا أنها تؤدى نفس العمل .

وتجهز صوامع التشوين فى الأفران الحديثة عند نهـاية فتحـاتها السـفلية ، بهـزازات أوتوماتيكية ، تغلقها تماما ، وتمنع هبوط مشحوناتها إلا عند تشغيل هذه الهـزازات ، التى تتلق إشارات كهربية من أجهزة التحكم الخاصة ، فتعمل للفترة الزمنية التى تسـمح بنزول كمية الخامة المطلوبة ، إلى عربات شحن الفرن وحسب برنامج شـحن الفـرن الدقيق ، بناء على إشارة من الميزان إلى جهاز التحكم . كما تجهز الصوامع حـاليا بأجهـزة قياس إليكترونية ، تحدد الحجم الذى تشغله الخامة بها ، والتى تتلخص فكرتهـا فى وضـع عنصر مشـع فى أحـد جوانب الصومعة ، وجهاز اسـتقبال فى الناحية المقـابلة ، فبوجـود الخـام بينهما ، يمتنع مرور الأشعة ، وبالتالى يمكن تحديد الحجم الذى تشغله الخامات .

المعدات المستخدمة بوحدة الصوامع وأحواش التشوين :

تجهز الوحدة بالعديد من المعدات التى تستخدم فى أغراض العمليات المختلفـة التى تؤدى بها وهى :

(ا) عربات التوزيع :

تشون الخامات بالأحـواش حسـب أنواعهـا فى أكوام عديدة ، بينما يختص عدد معـين مع صوامع التشوين بالبناكر ، لكل من هذه الخـامات ، ويتم السـحب منهـا لتغـذية الأفران . وعليه يجب إمداد هذه الصوامع بالخامة المقـابلة من حـوش التشـوين ، ويتم ذلك بشـحن عربات خاصة تتحرك على قضـبان السكك الحـديدية بأعلى الصـوامع تسـمى « عربات التوزيع » التى تقوم بدورها بتفريغها فى الصوامع المخصصة لها . وتتحـرك هذه العـربات إما بقيادة السـائقين وإما أوتوماتيكيا ، وتتراوح حمولتهـا بين ٢٥ و ٥٠ طنا ويتجـه التصـميم الحديث إلى الاستغناء عن هذه بسبب الحاجة الدائمةالى صياناتها لكثرة أعطالها ، واستخدام السيور فى توزيع المشحونات على الصوامع مباشرة .

(ب) الونش العالى :

والذى يتحرك على قضبان حديدية خاصة ، بطول حوش التشوين المخصص له ، ويسـتخدم فى تشوين الخامات ، بسـحبها من مكان تفـريغها أمام فتحـات التفـريغ بالبناكر الى أكوام

خاصة بكل منها . ويســـتخدم فى شــحن عربات التوزيع لملء صـــوامع التشــوين ، وكذا يستخدم أحيانا فى عمليات التجنيس .

ونظرا لتصـميم الونش وارتفـاعه ، وخـوفا من تأثير سرعة الرياح على هيكل الونش المعدنى ، فإنه يجهز بمجموعة من الفرامل التى تثبته فى مكانه ، وتمنع حركة أى جزء فيه تحت هذه الظروف . ولسلامة الهيكل المعدنى ، حـتى لا يتعـرض للانثناء اذا ما تقـدمت جهـة منه عند سيرها عن الجهـة الأخـرى ، يجهـز الونش بمجموعة من الموتورات المعـوضة للسرعة ، تزيد فى سرعة الجهة المتأخرة ، وتعمل أوتوماتيكيا بمجرد أن تتجاوز المسافة بين الجهتين قدرا معينا . هذا بالاضافة الى تزويد الونش بالعديد من أجهزة التنبيه ، التى تعمل بمجـرد وجـود أى خلل فى الونش ، فيتنبه السائق ويتوقف لحين عودة الأمور لسيرها المألوف .

ونظرا للترابط الوثيق بين قدرة الونش الانتاجية وتشغيل الفـرن تشـغيلا منتظما ، تحـدد طاقة الونش الإنتاجية تحديدا مضبوطا حسب العلاقة التالية :

$$ط = \frac{٦٠}{ن} \times ح \times ك$$

ط = الطاقة الإنتاجية طن / ساعة أو متر مكعب / ساعة .

ك = ثابت يراعى درجة امتلاء كباش الونش .

ز = زمن دورة الشحن والتفريغ (دقيقة) .

يضـاف إلى ذلك ، الوقت اللازم لتحـركات الونش من مكان تشـوين أى خـامة الى الأخـرى . وفى البلدان الباردة الجـو ، تضـــاف أوقات لعمليات تنظيف كباش الونش من الخامات التى تلصق به بعد كل فترة تشغيل ، نتيجة ازدياد رطوبة المشحونات .

(ج) عربة الميزان :

وهى تشابه فى شكلها الخارجى عربة التوزيع ، غير أنها تعمل أسفل البناكر والصوامع ، وهى مجهزة بمخزنين على هيئة مخروطين ، يفصل كلا عن الآخر ، جدار من الصـاج ، ويرتكز كل مخروط على ميزان حساس ، يقوم بتسجيل التغير فى وزن محتوياته . وهى تقـوم بسـحب الخامات من صوامعها حسـب الأوزان المحـددة من قبل لمكونات الشـحنة ، ثم تفـــريغها فى عربات شحن الفرن . وتجهز هذه العربات بروافع هيدروليكية ، تسـتخدم فى فتح سـدادات الصوامع ، بدفعها من مكانها إلى أعلى ، حيث تنساب الكمية المحددة من كل خامة على حدة

فى المخزن المخروطى المخصص لها ، وفق نظام وترتيب المشحونات المعمول به ، وتجهز العربة بمعدات تمنع فتح أبواب المخروطين أثناء السير ، وأثناء رفع الأزرع الهيدروليكية .

(د) مكنة التجنيس :

تتكون الماكينة من هيكل ضخم يتحرك على قضبان حديدية ، تنقل الخامات بمجموعة من السيور إلى ذراعها ، حيث يتم سقوطها . وباستمرار حركة الماكينة من أول مسارها إلى نهايته ، يتم توزيع الخامات توزيعا دقيقا بطول هذا المشوار ، ويمكن زيادة أو نقص طول الذراع ، التحكم فى توزيع الخامات فى الاتجاه العمودى ـ أى بعرض كوم التشوين ـ وبالتالى عند وصول الكوم الى الحجم المطلوب ، يتم نقل المكنة الى حوش تشوين آخر ، وتستبدل بمكنة سحب الخامات ، وهى مكونة من ذراع شبكية ضخمة ، تتحرك على سطح الأكوام التى سبق اعدادها وتجنيسها ، وهى فى حركتها تسمح بمرور كمية من الخام فى طبقات متماثلة السمك ـ عموديا على امتداد الكوم ـ تنزلق عليه ليتم تجميعها فى مسار محدود فى نهايته ، ومنه إلى السيور الناقلة الى الصوامع لشحنها بالفرن .

٥ ـ وحدة تصنيع ومعالجة الخبث :

يتم تجميع الشوائب الموجودة فى مكونات شحنة الفرن العالى ، وبعض العناصر المرغوب تخليص الحديد الزهر المنتج منها ، فى صورة خبث يعتبر كناتج ثانوى . وقد ظل هذا المنتج غير مستغل لفترات طويلة ، مما سبب ارتفاع تكلفة الإنتاج . ومع تطور العلم والتكنولوجيا ، استحدثت مجالات عديدة ، أمكن استخدامه بها ، واكتسب نتيجة لذلك قيمة اقتصادية ، خففت من عبء تكلفة إنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية ، وكان ذلك دافعا إلى بناء وحدات تصنيع ومعالجة له ، يلائم منتجها النهائى ، الاحتياجات التكنولوجية لوجه الاستخدام التالى . ويتم تصنيع الخبث فى إحدى الصور التالية ، التى تحدد بالتالى الخواص الطبيعية له ، تبعا للطريقة التى اتبعت فى تبريده ، وهى :

(ا) خبث محبب .

(ب) صوف الخبث .

(ج) الخبث الخفاف أو المنقوش .

(د) الخبث المبرد هوائيا .

(أ) **الخبث المحبب :** هو ناتج الخبث السائل المبرد تبريدا مفاجئا ، وبكمية كبيرة من المياه ، ويستخدم فى صناعة الأسمنت الحديدى ، وهو عادة ناتج الخبث القاعدى . ويشترط فيه ، عدم زيادة نسبة الماجنيزيا عن ٦٪ .

وتتكون وحدة تحبيب الخبث . من مجارى وأحواض الصب ، ثم مجموعات من الطلمبات تدفع مياه التبريد خلال مواسير خاصة حتى المجارى أو الأحواض ، ثم مجموعات الأوناش المطلوبة لتحميل المنتج ، ووحدات نقل لتسوية الموقع . ووحدات نقل خطوط السكك الحديدية . بالإضافة إلى خطوط سكك حديدية ، متصلة بالأفران تسير عليها قطارات وبوادق الخبث السائل ، ثم خطوط سكك حديد تقل المنتج ، وأحيانا صوامع لتخزين المنتج .

(ب) **صوف الخبث :** والذى يتم إنتاجه بتعريض الخبث السائل إلى أدشاش من الماء المضغوط بضغط عال تسبب تبريده فى هيئة شعيرات دقيقة ، تستخدم كعازل لمواسير البخار وخلافه .

(ج) **أما الخبث المنقوش :** فيتم الحصول عليه بالقاء الخبت السائل فى بركة مياة لا تكفى لتبريده تماما ، ونتيجة لتصاعد أبخرة المياة لخلال طبقات الخبث ، يكون المنتج فى صورة قطع متماسكة خفيفة الوزن ، تستخدم كعوازل أعلى المبانى . كما يمكن استخدام المنتج فى صناعة طوب عازل ذى مواصفات خاصة .

(د) **أما الخبث المبرد هوائيا :** فيمكن الحصول عليه من إلقاء الخبث السائل ، وتركه ليبرد تلقائيا ، كما يتكون جزء منه ممثلا فى الطبقة الخارجية الملاصقة لجوانب بوادق صب الخبث ، بالإضافة إلى القشرة العلوية المعرضة للجو للخبث بالبوادق . وهذا النوع يمكن تكسيره ثم نخله ، للحصول على تدرج حجمى يلائم احتياجات أعمال رصف الطرق ، أو دكات السكك الحديدية .

٦ ـ ماكينة صب الحديد الزهر :

بسبب الاحتياج للحديد الزهر فى الصناعات المعدنية والمسابك ، ولضمان سلاسة واستمرار تشغيل الأفران العالية ، وحتى لا تتأثر هذه بسبب اختناقات المراحل التالية لإنتاج الحديد الزهر بمصانع الحديد والصلب ، تستخدم هذه الوحدات لتستوعب كميات الزهر الزائدة عن حاجة قسم الصلب ، أو التى لا يمكنه استيعابها فى وقت معين ، بسبب

أعطال مفاجئة ، فى إنتاج قوالب من الحديد الزهر بأشكال وأوزان محددة ، يمكن تداولها بسهولة .

وتتكون ماكينة صب الزهر ، من حصيرة لا نهائية ، شبيهة بتلك السابق الحديث عنها والمستخدمة فى التلبيد ، وتختلف عنها فى أن السير الناقل فى هذه الحالة ، مكون من مجموعة قوالب من الزهر المتلاصقة ، يملأ بالحديد السائل من مجارى خاصة ، ويعرض سطح المعدن بها أثناء سيرها لأدشاش مياه باردة .

وتضبط سرعة دوران السير اللانهائى ، بحيث تصل القوالب فى نهايتها ، وقد تم تجمد المعدن بها ، فتترك قوالب المعدن السير عند دورانه ليستقبلها موجه خاص يوجهها لعربات الشحن ، التى تنقلها إلى مخازن التشوين داخل المصانع ، أو خارج المصنع لمكان الاستخدام .

وتتبع الوحدة ، وحدة تحضير محلول الجير لتبطين القوالب خلال دورتها ، حتى لا يلتصق المعدن بسطحها ، ثم مجموعة من الطلمبات لترفع مياه التبريد ، ثم أحواض ترسيب لفصل عوالق راجع مياه التبريد وتنقيتها ، ليمكن استخدامها ثانية فى دورتها المغلقة .

وتخدم الوحدة مجموعة أوناش ، منها المخصص لرفع البوادق الحديد الزهر بسرعة معينة ، تختلف باختلاف ميل البودقة ، وبالتالى تضمن انسياب كمية ثابتة من المعدن من فتحة البودقة طوال زمن الصب منها . وكذا منها أوناش الصالة ، وأوناش المرسبات ، وأوناش أحواش التشوين ، وأوناش سحب البوادق ، وأوناش تحريك عربات تحميل المنتج على خطوط السكك الحديدية داخل عنبر الصب ، وحتى حوش التشوين .

ويخضع المنتج من القوالب لمواصفات خاصة ، أهمها التناسق فى الوزن ، والتشابه فى التركيب ، وسلامة الأسطح ، وانعدام الفراغات الداخلية .

٦ ـ وحدة طواحين إعداد الطينة الحرارية :

تلحق بالأفران العالية ، وحدة لإعداد الطينة الحرارية بمواصفاتها المختلفة ، حسب متطلبات ومكان التشغيل . وتتكون هذه الطينة من خلطة مكونة من الطينة عالية الألومينا ، وناعم الكوك ، وكسر طوب الشاموت ، مع إضافة القار كمادة رابطة . وتختلف نسبة هذه المكونات حسب نوع الطينة ، والغرض الذى تستخدم من أجله .

وتتطحن الطينة المستخدمة فى طواحين دورانية ، وأما الطوب فيطحن فى طواحين فكية ،

طحنا دقيقا لضمان تناسق الحبيبات ، وتجانس الخلطة المنتجة بعد ذلك . وتراعى الدقة التامة عند خلط المكونات ، لأن أى خطأ يسبب عدم تجانس الخلطة الناجمة ، ويسبب بالتالى عدم مطابقتها للمواصفات المطلوبة . ثم تقلب الخلطة جيدا ، وتترك فترة يعاد بعدها التقليب مرة أخرى وهكذا ، لضمان التجانس التام . ثم تترك بعد ذلك لمدة ٤ الى ٦ أيام ، وتنقل إلى الأفران بعد ذلك ، ليضاف إليها الماء تحت رقابة خاصة ، وذلك قبل استخدامها مباشرة ، حيث أن زيادة نسبة الماء الذى يتبخر بارتفاع حرارة عامود غلق الفرن ، ضار جدا لبطانة الفرن الكربونية .

ولكل مكون من مكونات الخلطة أثره على تحديد نوعيتها ، وبالتالى مطابقتها للتشغيل . فالطينة ذات النسبة العالية من أكسيد الألومينوم ، والطوب الحرارى ، كسبانها المقاومة لدرجات الحرارة العالية ، وبالتالى تماسكها تحت هذه الظروف . كما أن إضافة الكوك ، تسبب خلق مسامية تكون مسلكا لخروج الأبخرة عند ارتفاع درجة حرارة الخلطة ، وبالتالى تحفظ لها تماسكها .

وتحدد كمية الخلطة المستخدمة فى غلق فتحة الحديد لفرن ما ، حسب بعد قطر بودقة الصهر به ، فى أمريكا وحسب نتائج تجارب عديدة فى هذا المجال ، أمكن تحديد هذه الكمية بحوالى ٢٢٠ لترا للأفران بقطر أكبر من ٦ أمتار ، وبحوالى ١٦٠ لترا فى حالة الأفران ذات الأقطار الأقل من هذه القيمة .

وتتكون وحدة الطواحين من صوامع استقبال الخامات الأولية ، ثم صوامع تشوين الخامات . وتجهز هذه بموازين تتحكم فى كمية الخامة الهابطة منها على السير الناقل المركب تحت مجموعة الصوامع ، والذى ينقل الخامات المختلفة فى طبقات تعلو بعضها بعضا ، حسب ترتيب صوامعها إلى الطواحين ، ليتم طحنها وخلطها . وتعبأ الخلطة بعد ذلك فى صناديق خاصة ، لترسل إلى صالة الأفران ، حيث يضاف إليها الماء بمقادير محددة (١٢٪ من وزنها تقريبا) ، ثم يتم تخليطها وتجنيسها قبل استخدامها مباشرة .

الباب الخامس

أجهزة القياس والتحكم المستخدمة بالأفران العالية

يستخدم لمتابعة ومراقبة التشغيل بالأفران العالية ، العديد من أجهـزة القياس والتحكم ، التي يتولى كل منها إعطاء الصورة الواقعية لحـالة العمل ، فيا يختص بالغـرض الذى أنشىء من أجله . وهى تختلف فى أسس ونظريات عملها . ومن مجمل الدلالات لهذه الأجهـزة التي يتم تجميعها وربطها معا وتحليلها ، يتمكن العـاملون بالأفران العـالية ، من معـرفة ما يجـرى بداخـل الفـرن . كما يسـاعدهم ذلك على التنبؤ بما ينتظر التشـغيل من تطورات . وبالتالى القدرة على اتخاذ القـرارات والإجـراءات التى تمكن من السـيطرة التامة على التشـغيل ، وتحقيق أهداف الإنتاج كما ونوعا ، وبصورة اقتصادية .

وتنقسم هذه الأجهزة فى مجموعها إلى قسمين رئيسيين :ـ

الأول : ويشمل أجهزة القياس والتسجيل ، والتى تعطى وتسجل القياسات المكلفة بها ، مثل الازدواجات الحرارية ، وأجهزة تحليل الغازات وقياس ضغوطها وكمياتها ، وأجهزة قياس مستوى الشحنة بالفـرن ومتابعـة هبوطهـا ، والموازيين ، أجهـزة قياس كميات مياه التبريد وضغوطها ، الخ .

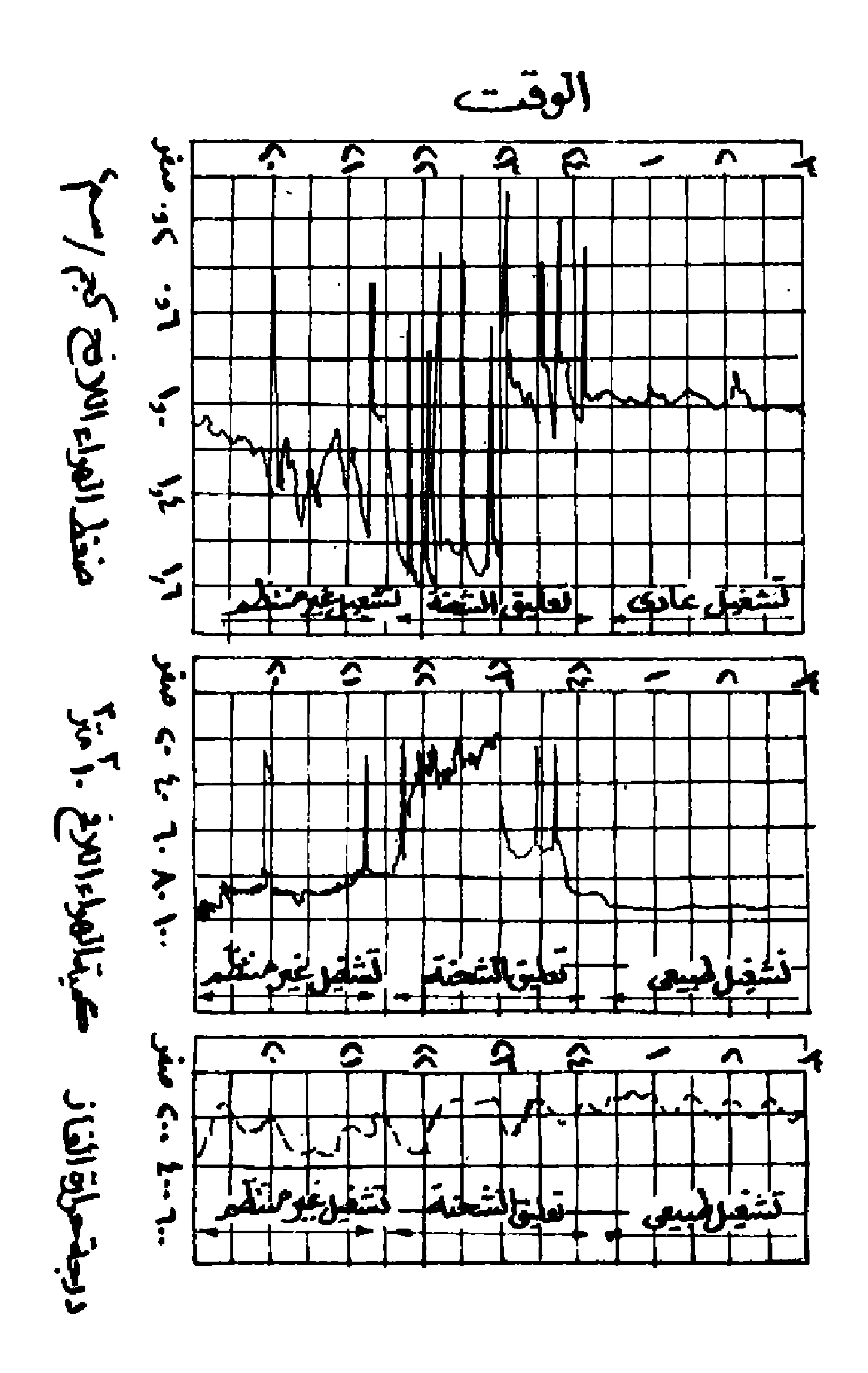
الثانى : ويشمل أجهزة التحكم ، التى يتم تكليفها بالمحافظة على وضع معين محدد ، يتناسـب وظروف التشغيل ، عن طريق هيمنتها الأوتوماتيكية (الآلية) على المعدات المتحكمة فى المراحل المختلفة لهذا الوضع ، مثل أجهزة كمية الهواء اللافح أو درجة حـرارته ، أو أجهزة التحكم فى نسبة الغـازات والهـواء ، فى عمليات تسـخين المسـخنات ، أو أجهزة التحكم فى كميات المازوت أو الغازات المحقونة ، الخ .

ومن أهم الأجهزة المستخدمة بالأفران العالية ، الأجهزة التالية :

١ ـ أجهزة قياس كمية الهواء اللافح أو الهواء البارد :

تعتمد هذه الأجهزة فى قياسـاتها ، على تناسـب الضـغط المتولد عن كمية من الهـواء أو الغاز مع مقدار هذه الكمية ، وعليه تركب فى مواسير مرور الهواء عند نقـط القياس ، ألواح

من الصاج ، بشكل دائرى تعترض المسار ، وتتحرك على محور دورانى رأسى ، يمكنها من اتخاذ أى وضع يتدرج من السماح بفتح المواسير تماما ، أو إغلاقها تماما .



تشكل ٢٣ ـ يحدد نموذجا لقراءات أجهزة القياس لفرن عال تحت ظروف تشغيل مختلفة

وقد تكون هذه الألواح - في بعض الأحيان - على هيئة قرص به فتحة أو أكثر بمركزه ، يمكن فتحها أو إغلاقها حسب الحاجة . وعليه فعند تغير وضع الألواح ، للسماح بمرور جزء من الهواء ، يتولد خلفها ضغط يتناسب والكمية المسموح بمرورها ، وعليه فقياس الضغط خلف وأمام القرص ، وتحديد الفرق بينهما ، يمكن الهيمنة على الكمية المسموح بمرورها ، (الشكل ٢٣) وعليه ، فتحديد فارق ضغط معين والحفاظ عليه ، يعني السماح بكمية محدودة من الهواء أو الغاز بالمرور ، بمعنى التحكم الكامل في كمية الهواء حسب احتياجات التشغيل . ويمكن بسهولة تركيب أجهزة معايرة تعطى وتسجل الكمية بالمتر المكعب المارة خلال وحدة زمنية معينة المقابلة لفروق الضغط للمناجم عن تغير وضع الألواح .

ويستخدم بالأفران لقياس كمية الهواء اللافح الداخل إلى الأفران عادة ، الجهاز المعروف باسم « الميزان الحلق » ، والذى يتكون من أسطوانة بشكل دائرى ، يغلقها ويقسمها إلى قسمين لوح فاصل . تملأ بالماء أو بالزئبق ، وتتحرك في مستوى رأسى حركة حرة ، ويركب عند نقطة المركز منها ، مؤشر يتحرك على تدرج يقرأ مباشرة ، أو عن طريق جهاز تسجيل ، كمية الهواء المار بالماسورة ، التى تتناسب وفارق الضغط عند نقطتى القياس المحددتين أمام وخلف الألواح المتصلتين عن طريق مواسير خاصة بفراغ الأسطوانة على جانبي الفاصل . وبالتالى تتحرك الأسطوانة إلى وضع الاتزان الذى يتناسب وفارق الضغط على سطحى السائل بداخلها من الناحيتين . ويركب على سطح الأسطوانة الخارجي ، ثقل يعادل وزنها ، حتى يضمن لها الحركة الحرة .

٢ - أجهزة قياس ضغط الهواء اللافح أو ضغط الغاز :

يتكون الجهاز من ماسورة حلزونية دقيقة ، يلتحم أحد طرفيها بمصادر نقط القياس ، ويغلق طرفها الآخر المتصل بمؤشر يتحرك على تدرج معاير من قبل . فبزيادة الضغط عند نقطة القياس ، وبالتالى زيادة الضغط داخل الماسورة الحلزونية ، يميل شكلها إلى الاستقامة ، فيتحرك المؤشر إلى القيمة الأكبر ، وبانخفاض الضغط يتحرك المؤشر نتيجة عودة شكل الماسورة إلى الوضع الحلزونى فى اتجاه القيمة الأقل .

ويركب جهاز قياس ضغط الهواء اللافح ، عند مدخل الهواء إلى الماسورة الملتفة حول الفرن ، وأحيانا عند مدخل الهواء بكل فتحة هواء بالكوع الكبير . وتنقل القيمة المقاسة

إلى أجهزة تسجيل ، تسجل القراءات ليمكن الرجوع إليها على فترات زمنية مختلفة . وبالتالى يمكن الحكم على نفاذية الشحنة ، ذلك أن زيادة الضغط ، يرجع إلى مقاومة عامود الشحنات داخل الفرن لعامود الغازات الصاعدة ، كما أن انخفاضه يعد دليلا على زيادة نفاذية الشحنة ، وبالتالى يمكن اتخاذ الإجراءات التى تتناسب وظروف التشغيل .

أما ضغط الغازات الخارجة من الفرن ، فيقاس عند نقطة أو اثنين بمواسير الغاز أعلى الفرن ، يعطى دلالات هامة عن حالة الفرن ، والتشغيل ، وحالة مجمعات الأتربة ، والحلزونات ، وتزداد هذه القيمة فى الأفران التى تعمل بضغط عال بالقمة ، وتتراوح قيمة ضغط الغاز بالأفران العالية ما بين ٣,. إلى ٦,. ضغط جوى ، بينما تبلغ ١,٠ إلى ١,٥ جوى فى الأفران التى تعمل بضغط عال بالقمة .

٣ ـ أجهزة قياس وضبط درجة حرارة الهواء اللافح :

تقاس درجات الحرارة باستخدام الازدواجات الحرارية ، التى تتكون من سلكين من معدنين مختلفين متلاحمين فى نهايتها ، فبتعريضهما للحرارة ، ومع اختلاف درجة توصيلهما لها ، تتولد بينهما قوة كهربائية دافعة ، يمكن قياسها ونقلها إلى تدريج خاص يعطى المقابل لها من درجات الحرارة . وتركب أجهزة قياس درجة حرارة الهواء اللافح الداخل إلى الفرن عند مدخل الهواء إلى الماسورة الدائرية حول الفرن ، وتحدد قيمتها حسب احتياجات التشغيل . وحيث أنه من الضرورى لسلامة التشغيل ، ضمان ثبات هذه الدرجة ، لذا تجهز الأفران بأجهزة تحكم تتلق هزات كهربائية صادرة من ازدواج القياس عند مدخل الماسورة الدائرية حول الفرن ، فإذا حدث وكان هناك اختلاف بين قيمة هذا القياس ، وقيمة درجة الحرارة المطلوبة على جهاز التحكم ، قام ذلك بإرسال إشارة كهربائية إلى زاوية خلط الهواء البارد يغلقها أو يفتحها ، بحيث يتم الحصول على درجة الحرارة المطلوبة تماما .

أما أجهزة قياس درجة حرارة الغازات ، فتركب على مواسير الغاز بموضع أو أكثر ، وهى عبارة عن ازدواجات حرارية عادية ، تعطى قراءتها لتسجل بجهاز خاص ليمكن مقارنتها بين الحين والآخر ، ذلك أن ارتفاع درجة حرارة الغازات أعلى الفرن ، يدل على سوء تشغيل الفرن ، وعدم الاستفادة التامة من الطاقة الحرارية للغازات فى تجهيز المشحونات ، أو يدل على تعليق شحنة الفرن ، أو يدل عند توقف الأفران ، على تسرب

مياه لداخل الفرن تسبب فى اشتعال الغاز أعلى الفرن ، أو يدل كذلك على عدم تجانس الشحنة على مقطع الفرن ، إلخ . . . ودرجة الحرارة العادية تتراوح ما بين ٢٠٠° إلى ٣٠٠°م ، ويجب أن لا ترتفع عن ذلك كثيرا ، حتى لا يتسبب ذلك فى حدوث أضرار بالغة بأجهزة شحن الفرن .

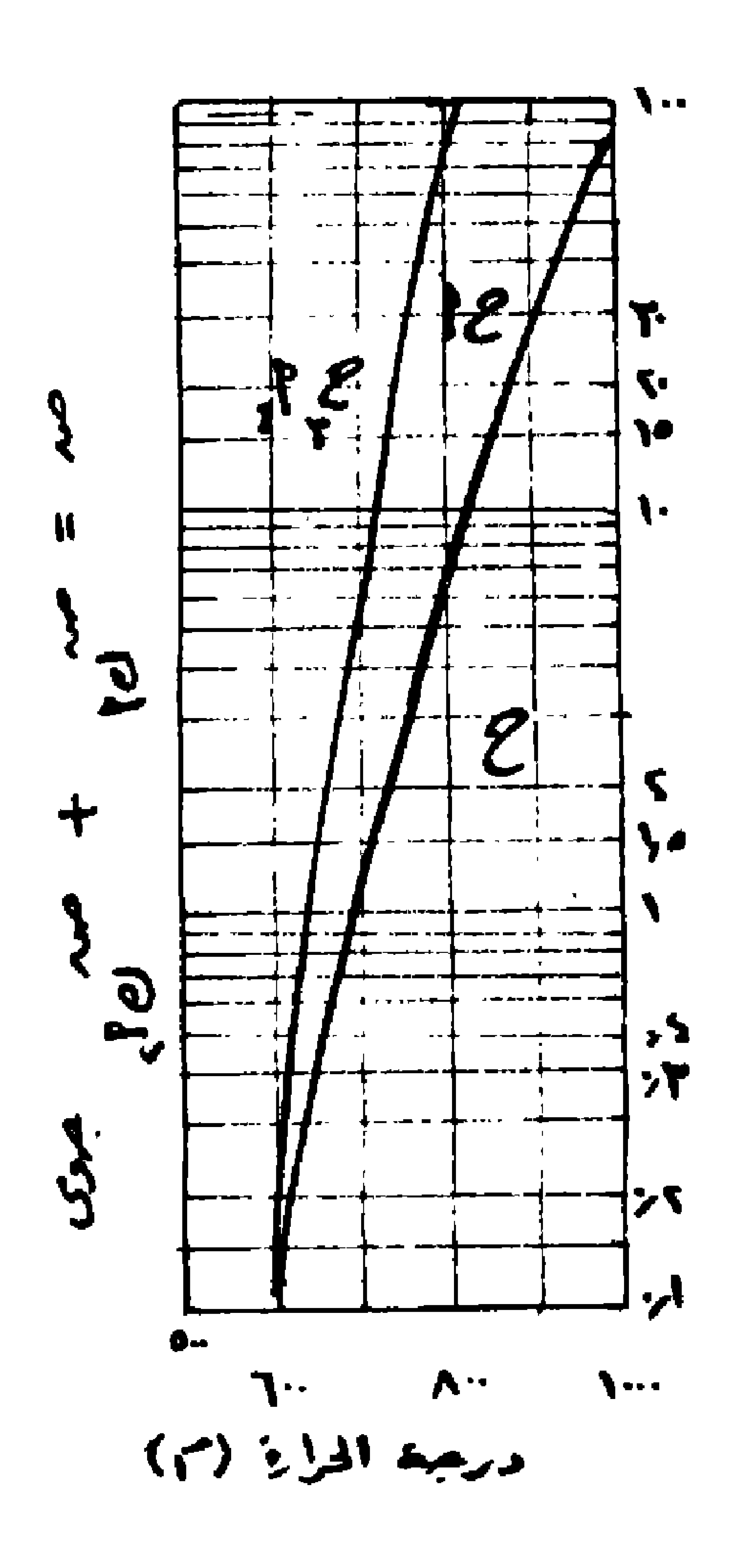
واستخدام الازدواجات الحرارية لقياس درجات الحرارة واسع المجال بالأفران العالية ، حيث تستخدم فى قياس درجات الحرارة للطوب الحرارى المبطن للفرن ، فى أماكن متعددة خاصة فى منطقة المخروط العلوى وبمبانى قاعدة الفرن . كما تقاس درجات حرارة بطانة المسخنات ، ودرجة حرارة عوادم الاحتراق ، ودرجة حرارة المعدن المنتج ، إلخ . . . باستخدام الازدواجات الحرارية أيضا .

٤ ـ أجهزة قياس توزيع درجة الحرارة وغاز ثانى أكسيد الكربون على مقطع الفرن بالمخروط العلوى :

تتناسب درجة حرارة الغازات الصاعدة بالفرن مع نفاذية الشحنة ، وعليه فإذا زادت هذه النفاذية ، كون ذلك سبيلا سهلا لصعود الغازات دون مقاومة ، وقلل من زمن تلامسها ومكونات الشحنة ، وبالتالى تحتفظ الغازات بدرجة حرارتها العالية . بمعنى أنه بقياس توزيع درجة حرارة الغازات الصاعدة على مقطع الفرن عند مستوى معين ، يمكن الحصول على مؤشر دال على كيفية توزيع الشحنة ونفاذيتها بداخل الفرن . كما أن قياس نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون فى هذه الغازات الصاعدة ، يعطى دلالة على سير عمليات الاختزال بالفرن .

وعليه تجهز الأفران الحديثة ، فى مستوى مداخل الهواء اللافح بحوالى ١٨ مترا ، بأجهزة قياس يمكنها الحصول على عينات من الغاز الصاعد عند هذا المستوى ، عند نقط مختلفة البعد عن منتصف الفرن ، ترسل بعدئذ إلى أجهزة خاصة تقوم بقياس درجة حرارتها ، وتحديد مكوناتها ، خاصة نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون بها . ومن هذه الأجهزة جهاز « بوخر » (الشكل ٢٤) والذى يتكون جسمه من الصاج ، بشكل مستطيل عرضه ١٥ إلى ٢٠ سم ، وبارتفاع ٧٠ إلى ٨٠ سم ، يدخل من خلال فتحة بجدار الفرن ويصل حتى منتصفه ، ويصمم السطح الأسفل لهذا الجهاز بشكل تدريجى ، تنتهى كل درجة عند مكان

معين من قطر الفرن عند المستوى المقابل للفتحة ، ويبلغ عددها ٣ إلى ٦ درجات منفصلة بعضها عن بعض . وتوجد بداخل كل درجة ماسورة مفرغة ، يمكن من خلالها سحب كمية من الغاز لتحليلها ، ومعرفة نسبة ثانى أكسيد الكربون بها كما يوجد بهذه الماسورة ازدواج حرارى لقياس درجة حرارة الغازات الصاعدة عند البعد المحدد بنهاية الدرجة . وعليه



شكل رقم ٢٤ - يحدد الضغوط المتولدة نتيجة نفاذ على كربون الكوك مع أكاسيد الحديد


فبتوصيل المواسير ، وبالتالى العينات إلى أجهـزة قياس وتسـجيل ، يمكن دواما الحكم على مدى نفاذية الشحنة ، وكذا مدى تقدم سـير عملية الاختـزال . وبالتالى القـدرة على اتخـاذ القرارات التى تكفل سلامة التشغيل .

ومن هذه الأجهزة أيضا ، الجهاز المعروف باسم جهـاز « لوتز » والذى يتكون من جسـم من الصاج ، بشكل يماثل شكل الجهاز السـابق ، ولكن بطول يغـطى مقـطع الفـرن عند مستوى تركيبه ، ويتم تبريد الجهاز باستخدام الماء خلال مواسير خـاصة مركبة به ، وتوجـد بالسطح السفلى من الجهاز ، فتحة يتحرك خلالها بواسطة سـلك خـاص جهـازان لأخـذ العينات ، مركب معهما ازدواجان حراريان . وتتحرك أجهـزة قياس أخـذ العينات فى شكل تبادلى ، بحيث لو كان أحد الجهازين عند منتصف الفرن ، يكون الجهـاز المقـابل فى الطرف الثانى عند جدار الفرن .

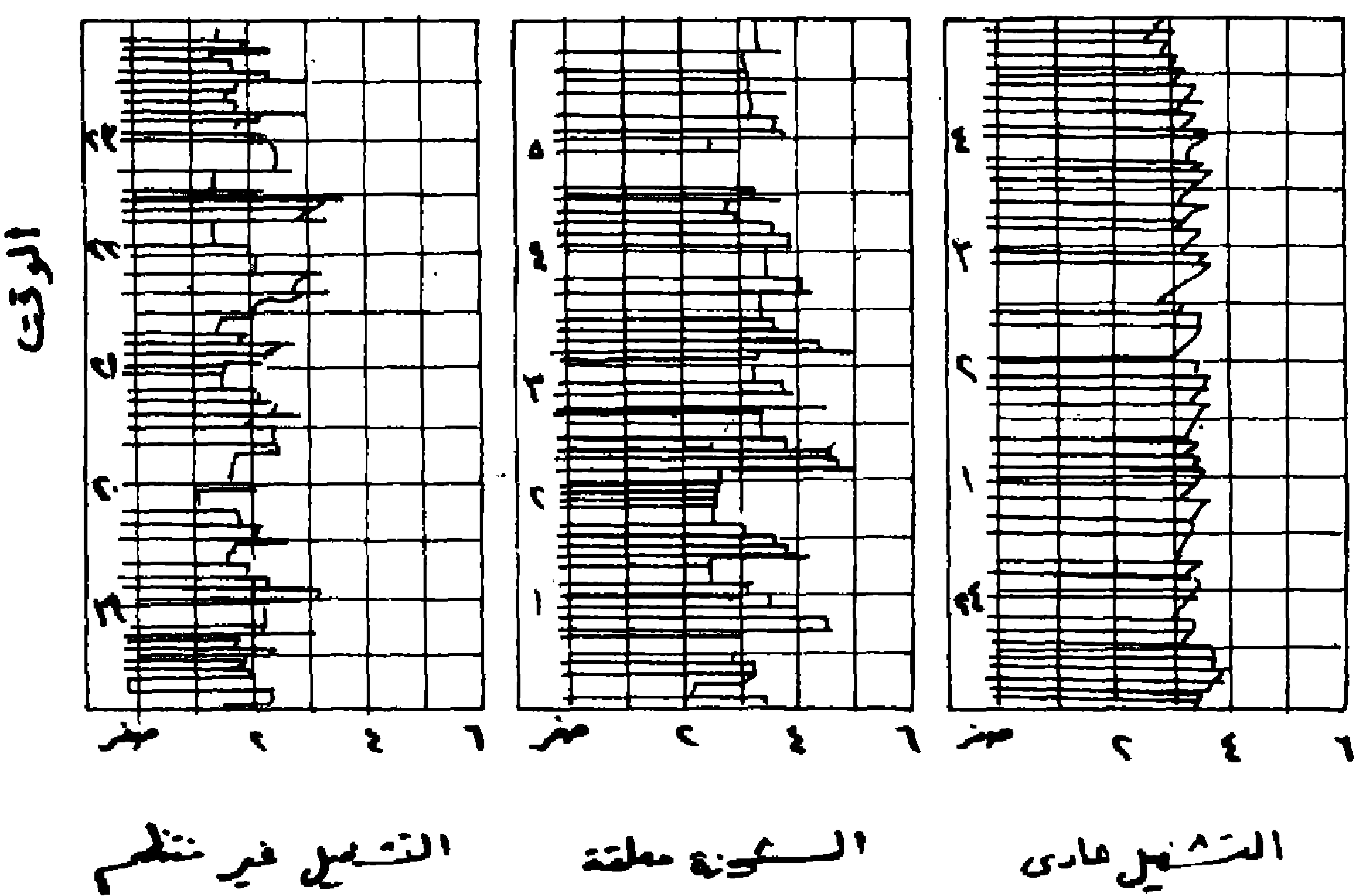
وبتشغيل الأجهزة ، يمكن الحصول على عينات من الغـازات الصـاعدة عند أبعـاد ثابتة بمقطع الفرن ، وكذا قياس درجة حرارتها . وتستغرق حركة جهـاز أخـذ العـينة من جـدار الفرن حتى نهاية مشواره عند منتصف الفرن ٣٠ دقيقة ، وتؤخـذ العـينات بدءا من جـدار الفرن حتى منتصفه ، حيث تغلق مآخذ جهاز العينة الأول ، ليبدأ تسـجيل قراءات الجهـاز الثانى الذى يبدأ الحركة من جدار الفرن الآخر وهكذا .

٥ ـ جهاز قياس مستوى شحنة الفرن :

ويسـمى جهاز « المجسات » ، ويتكون من عامودين من الصلب ، يدخـل كل منهما الفـرن خلال فتحة خاصة بأعلاه ، ويربط من طرفه العلوى بسلك يعمل عن طريق موتور خاص فى غرفة الماكينات الفرن ، فعند الرغبة فى إضافة شحنة جديدة بالفرن ، تسـحب المجسـات إلى أعلى ، خارج الفرن ، ثم تترك لتهبط بعد هبوط الشحنة من فوق الجرس الكبير داخل الفرن ، حيث يلامس الطرف الثانى للمحبسات سـطح المشـحونات ويبدأ الحـركة معـها ، مسجلا عن طريق جهاز خاص ، تغير بعد سطح الشـحنة عن مسـتوى الشـحن ، وبمتابعـة ذلك ، ومن الشكل الذى يسجله جهـاز التسـجيل ، يمكن الحكم على كيفية هبوط الشـحنة بداخل الفرن وهل يتم تدريجيا وهو المطلوب ، أم فجائيا وهو غير المطلوب . وعند وصـول بعد سطح الشحنة داخل الفرن إلى القدر المحدد له ، ترفع المحبسات لتعاد إضـافة شـحنات جديدة وهكذا .



شكل رقم ٢٥ ـ جهاز لورنز لمراقبة توزيع الغازات على مقطع الفرن



شكل ٢٦ ـ تسجيلات جهاز المجسات تحت ظروف تشغيل مختلفة

وقد أمكن ميكنة هذه العمليات ، حيث ترسل إشارة كهربائية من جهاز قياس عمق المجسات عند وصولها إلى المدى المحدد لها ، إلى محركها الذى يبدأ فى سحبها ، ويعطى هذا إشارة بدوره إلى بلوف معادلة الضغط فوق الجرس الكبير ، وأخرى إلى موتورات عربات شحن الفرن ، وبانتهاء التعادل ، تعطى إشارة لموتور فتح الجرس الكبير ، لتهبط الشحنة أعلاه لداخل الفرن ، ويعاد إغلاقه ، ثم ترسل إشارة لمعادلة الضغط بين الجرسين ، وأخرى لبدء هبوط المجسات مرة ثانية وترسل إشارة ثالثة ليفتح الجرس الصغير ويغلق قبل أن تصل عربات الشحن للفرن إلى القمة ، فتلق بشحنتها على الجرس الصغير الذى يلقيها بدوره على الجرس الكبير ، وفى خلال ذلك ، تعطى إشارة أخرى إلى هزازات صوامع الخامات ، لتسحب منها الكمية الممثلة لشحنة العربة التالية . وهكذا حتى تكتمل الشحنة فوق الجرس الكبير عندما تصل المجسات الى العمق المحدد تعاد الكرة مرة أخرى وهكذا . وعند حدوث أى خلل فى أى خطوة خلال هذه الحلقة من العمليات ، تتوقف الخطوات التى تليها أتوماتيكيا ، إذ أن إشارة الأمر ببدء عمل أى خطوة ، ترسل من جهاز التحكم عند انتهاء الخطوة السابقة تماما .

٦ ـ أجهزة قياس كمية الهواء الداخلية خلال كل فتحة من فتحات النفخ :

لما كان انتظام هبوط الشحنة داخل الفرن من أهم أساسيات التشغيل ، وكان فى الإمكان تخيل أن منطقة الأكسدة عند مستوى الودنات ، تمثل نهاية قمع تهبط المشحونات من خلاله إلى بودقة الصهر ، ولما كانت أبعاد منطقة الأكسدة ، وهى أيضا مكان أو موضع فتحة نهاية القمع ، تعتمد أساسا على كمية الهواء الداخل من الودنة المقابلة ، لذلك تتضح ضرورة الهيمنة على هذه الكمية ، بحيث تتساوى لكل الودنات ، ماأمكن ذلك . وبالتالى ، ينتظم هبوط الشحنة داخل الفرن ، موزعا على مقطع الفرن عند أى مستوى . ولهذا تركب حاليا أجهزة لقياس هذه الكميات ، لاتختلف فى عملها عن بقية أجهزة قياس كميات الغاز والهواء ، والسابق شرحها ـ عن طريق حاجز يركب فى الكوع الكبير ـ يمكن زيادة أو خفض هذه الكمية ، بحيث تتساوى بكل فتحات النفخ . وفى الماضى ، استخدمت مواسير على هيئة (U) ، كانت تملأ بالماء ، لقياس اختلاف الضغط بين مدخل الودنة ونقطة الصفر الافتراضية ـ وهى نقطة قياس فى الماسورة الموصلة للهواء اللافح ـ وبذلك أمكن تحديد كمية الهواء الداخلة لكل فتحة ثم الهيمنة عليها . وزيادة كمية الهواء الداخلة من ودنة ما ، يعتبر دليلا على زيادة نفاذية الشحنة فى المستويات أعلى هذه الودنة ناحية الفرن التى تقع

بها ، وبالتالى يمكن عن طريق تغيير نظام الشحن ، إضافة شحنات بهذا الجانب من الفـرن ، تؤدى إلى إقلال النفاذية ، وتعمل على تحسين توزيع الغـازات الصـاعدة على مقـطع الفـرن كله .

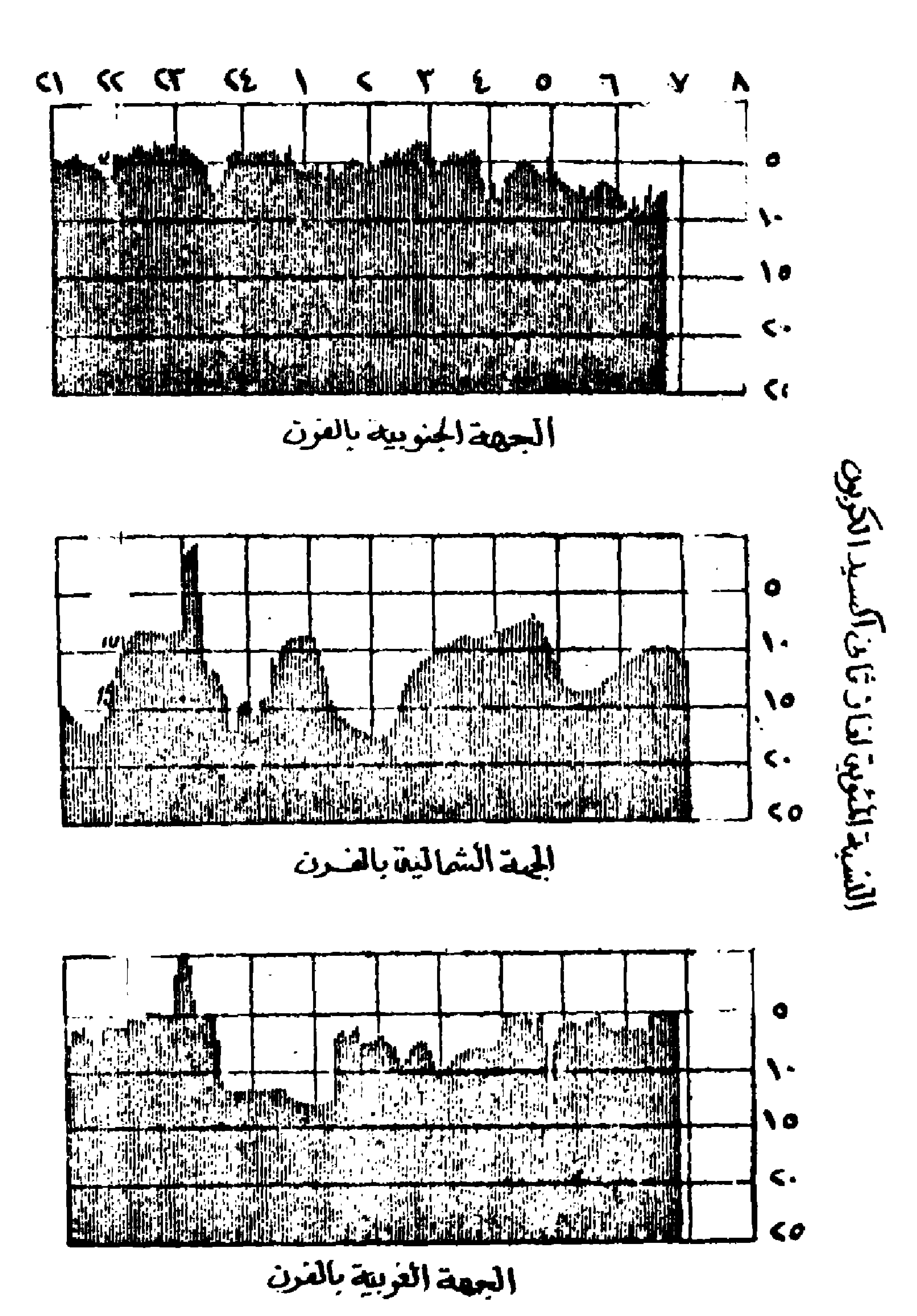
٧ ـ أجهزة تحليل الغازات :

بالإضافة إلى ماسبق الحـديث عنه من أجهـزة القياس التى تخـدم عمليات الأفران العالية ، تجهـز غرف مراقبة تشـغيل الأفران ، الشكل (٢٧) ، بأجهـزة خـاصة تمكن من تحليل الغازات الصاعدة . فيوجد جهـاز لقياس نسـبة غاز ثانى أكسـيد الكربون ، وآخـر لقياس نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، وثالث لتحـديد نسـبة الهيدروچـين ، وبمعـرفة هذه النسب بالغازات الصاعدة ، تحدد نسبة غاز النتروچين .

وتعتمد هذه الأجهزة فى قياساتها ، على اختلاف خواص الغـازات المذكورة ، فنجـد مثلا أن غاز ثانى أكسيد الكربون يتمتع بخاصية التوصيل الجيد للحـرارة ، والتى تفـوق بكثير مثيلاتها بالنسبة لباقى الغازات ، وبالتالى فبإمرار غاز الأفران العالية ، على موصل حرارى ، وقياس مقاومة هذا الموصل التى تعتمد على التوصيل الحرارى للغاز ، يمكن قياس نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون بها ، وبقياس الحرارة المتولدة عن احتراق كمية من الغاز ، يمكن تحديد نسبة غاز أول أكسيد الكربون . أما كمية النتروچين فهى عبارة عن المقدار الباقى .

وتجتمع جميع هذه الأجهزة فى حجرة أقرب ماتكون للفرن العـالى ، تسـمى غرفة مراقبة تشغيل الفرن ، بحيث يسـهل على العـاملين به قراءتهـا ، وتحليل مدلولاتهـا ، والربط بين المؤشرات المختلفة لبقية أجهزة المراقبة .

وبالتالى ، الحكم على التشغيل ، وسهولة اتخاذ القرارات . كما تضـاف بالغـرفة ، أجهـزة أخرى لقياس كمية وضغط مياه التبريد الرئيسية ، وضـغط البخـار فى شـبكاته ، وضـغط الغاز النقى ، وأجهزة مراقبة تشغيل المسخنات ، وأجهزة مراقبة الشحن ، وأجهزة اتصـالات داخلية ، وأجهزة الربط المباشر بين الفرن ووحدات نفـخ الهـواء ، وبين الفـرن ووحـداته المساعدة جميعها ، وأحيانا أجهزة تليفزيونية تنقل عمليات الصالة لغرفة المراقبة إلخ . بمعنى أنهـا تعتبر غرفة عمليات متكاملة تمثل القلب النابض للفـرن . وهى مكان الوجـود الدائم للمسئول الأول عن التشغيل .



شكل رقم ٢٧ يبين نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون بغاز أحد الأفران العالية مقاساً في جهات مختلفة وتحت مستوى حلق الفرن مباشرة .

الباب السادس
التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى

تتعرض المشحونات بالفرن العالى ، إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيقية خلال رحلتها من أعلى الفرن ، وحتى الحصول عليها فى هيئة معدن أو خبث منصهر فى أسفله . وكذا الحال لعامود غازات الأفران الصاعد . وهذه التغيرات تتولد نتيجة العديد من التفاعلات التى تتم وفقا لأسس ونظريات علمية ثابتة .

ولكى يتمكن القارىء من تفهم مايحدث بالفرن من تفاعلات ، نجد لزاما ، التعرض لشرح الأسس النظرية التى تتحكم فى أهمها ، وتكتنف الظروف التى تتم فيها ، وبالتالى توضح كيف يمكن الهيمنة عليها . وهى :

١ ـ الاختزال :

هو عملية استخلاص الأوكسيجين المرتبط بالمعدن مكونا أكاسيده وتخليصه منه ، ويتم ذلك عن طريق :

(ا) تفتيت الارتباط بين المعدن والأوكسيجين بالتسخين حسب مايلى :

أكسيد المعدن « بالتسخين » ——— المعدن + أوكسيجين .

(ب) استخدام مختزل يتمتع بقدرة وشراهة للارتباط بالاكسيجين تزيد على قدرة المعدن المطلوب اختزاله ، بشرط أن يتميز ناتج هذا الارتباط بالثبات تحت ظروف الاختزال المحيطة . بمعنى أن :

أكسيد المعدن + مختزل ——— المعدن + أكسيد المختزل

م ا + خ ——— م + خ ا

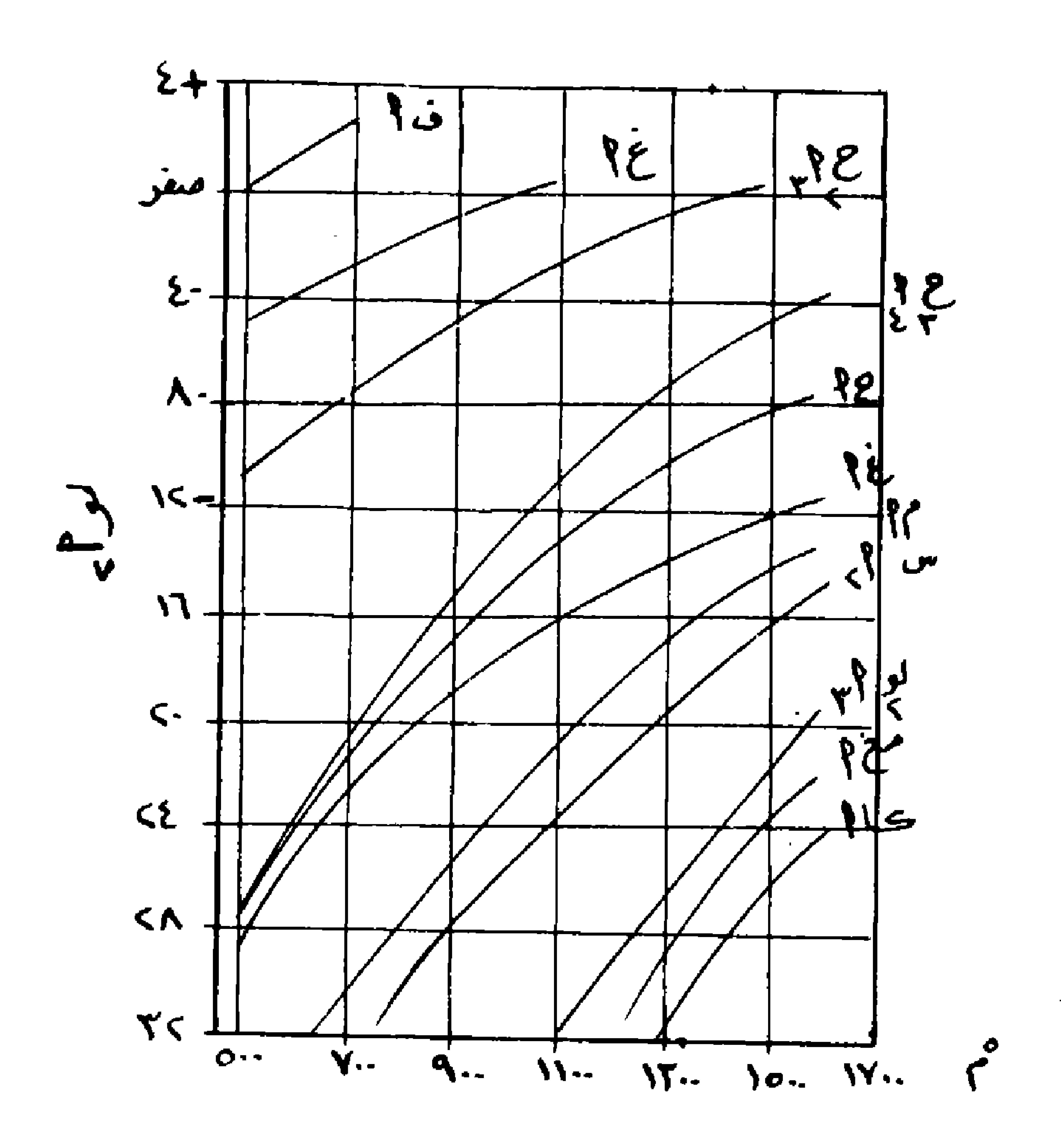
حيث م = معدن ، خ = مختزل .

كما يمكن أن يختزل أكسيد المختزل أكسيد المعدن الآخر وكما يلى :

أكسيد المعدن + أكسيد المختزل ——— المعدن + أكسيد أعلى للمختزل .

م ا٢ + خ ا ——— م + خ ا٢

وبهذا التعريف ، يمكن القول بأن تحول أكسيد معدن ما إلى أكسيده الأقل درجة ، يعتبر اختزالا له ، وتبين العلاقة هذه كالآتى :



شكل ٢٨ يحدد العلاقة بين لوغاريتم ضغط التحلل لبعض الأكاسيد ودرجة الحرارة

م ا٢ + ——— م ا + ١/٢ ا٢

م ا٢ + خ ——— م ا + خ ا

وتخليص المعدن من الأوكسيچين المرتبط به عن طريق اختزال أكاسيده ، يلعب دورا أساسيا فى الصناعة الميتالورجية ، حيث يتم به الحصول على معادن الحديد والرصاص والقصدير ، وعدد آخر من المعادن من خاماتها .

ويعنى تكون أكسيد المختزل الأكثر ثباتا تحت الظروف المحيطة بالتفاعل ، أن « الشغل الأعظم » لبناء هذا الأكسيد ، أقل من الشغل الأعظم لبناء أكسيد المعدن ، بمعنى

ش خ ——— ش ا

حيث أنه بدون ذلك الشرط ، لا يتم التفاعل فى الاتجاه المحدد بالسهم عاليه ، وينتج من ذلك أن « ضغط تحلل » الأكسيد المختزل تحت الظروف المحيطة بالتفاعل ، أقل من ضغط تحلل أكسيد المعدن .

وحيث أن الشغل الأعظم وضغط التحلل يمكن ربطهما بالعلاقة التالية :

ث . د . لو ض ا٢م ——— ث . د . لو ض ا٢خ

أى أن . . . لو ض ا٢م ——— لو ض ا٢خ

أى أن . . . ض ا٢م ——— ض ا٢خ

حيث ث = الثابت العام للغازات

د = درجة الحرارة المطلقة

ض ا٢م = ضغط التحلل لأكسيد المعدن .

ويعنى هذا أنه كلما انخفض ضغط التحلل لأكسيد ما ، كلما أصبح هذا الأكسيد قادرا على انتزاع الأوكسيچين من أى أكسيد له ، تحت ضغط تحلل أكبر منه . (تحت ظروف معينة من الحرارة والتركيز) .

وقد قام العلماء بتحديد ضغط التحلل لمجموعة من الأكاسيد تحت ظروف متغيرة لدرجات الحرارة ، كان من نتائجها الحصول على العلاقات المحددة بالشكل التالى الشكل (٢٨) . الذى يحدد هذه العلاقة ، حيث يختزل أى معدن أكسيد المعدن الذى يعلوه .

والشكل يحدد كذلك الشغل الأعظم اللازم لأكسدة أى معدن فى جو من الأوكسيچين عند درجة حرارة معينة.

ويلاحظ أن فى درجات الحرارة أقل من ٥٧٠°م، (نقطة تلاق الخطين الممثلين لضغط تحلل أكسيد الحديد المغناطيسى وأكسيد الحديدوز) ، أن ضغط تحلل أكسيد الحديدوز أكبر من ذلك الخاص بتحلل اكسيد الحديد المغناطيسى ، (ح ٣ ا ٤) ، بمعنى أن (ح ا) غير ثابت فى درجات الحرارة التى تقل عن هذه الدرجة ، وأن تحلل (ح٣ ا ٤) فى هذه الحال يكون كالآتى :

ح ٣ ا ٤ ——— ٣ح + ٢ا ٢

مباشرة ، كما يلاحظ من الشكل صعوبة اختزال الأكاسيد ذات ضغط التحلل الصغيرة ، مثل أكسيد السيليكون وأكاسيد المنجنيز. غير أن اختزالها إلى سيليكون ومنجنيز ، يحدث وبنسبة قليلة فى تفاعلات الأفران العالية ، بشرط توافر نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون ، وفى وجود الحديد الذى يذيب السيليكون والمنجنيز المتكونين عند درجات الحرارة العالية ، وذلك حسب العلاقة التالية :

س ا ٢ + [ح] + ك ا ——— [س] + [ح] + ك ا ٢

س ا ٢ + [ح] + ك ا ——— [م] + [ح] + ك ا ٢

المقصود بوجود رمز العنصر بين القوسين أنه فى حالة ذوبان فى الحديد.

٢ ـ مجموعة الكربون والأوكسيچين :

هذه المجموعة تضم العديد من المركبات التى تنجم عن التفاعلات التالية :

١ ـ ك + ا ٢ ⟶ ك ٢ غاز ثان أكسيد الكربون ... ث١ = (ض ن ا٢) / (ض ا٢)

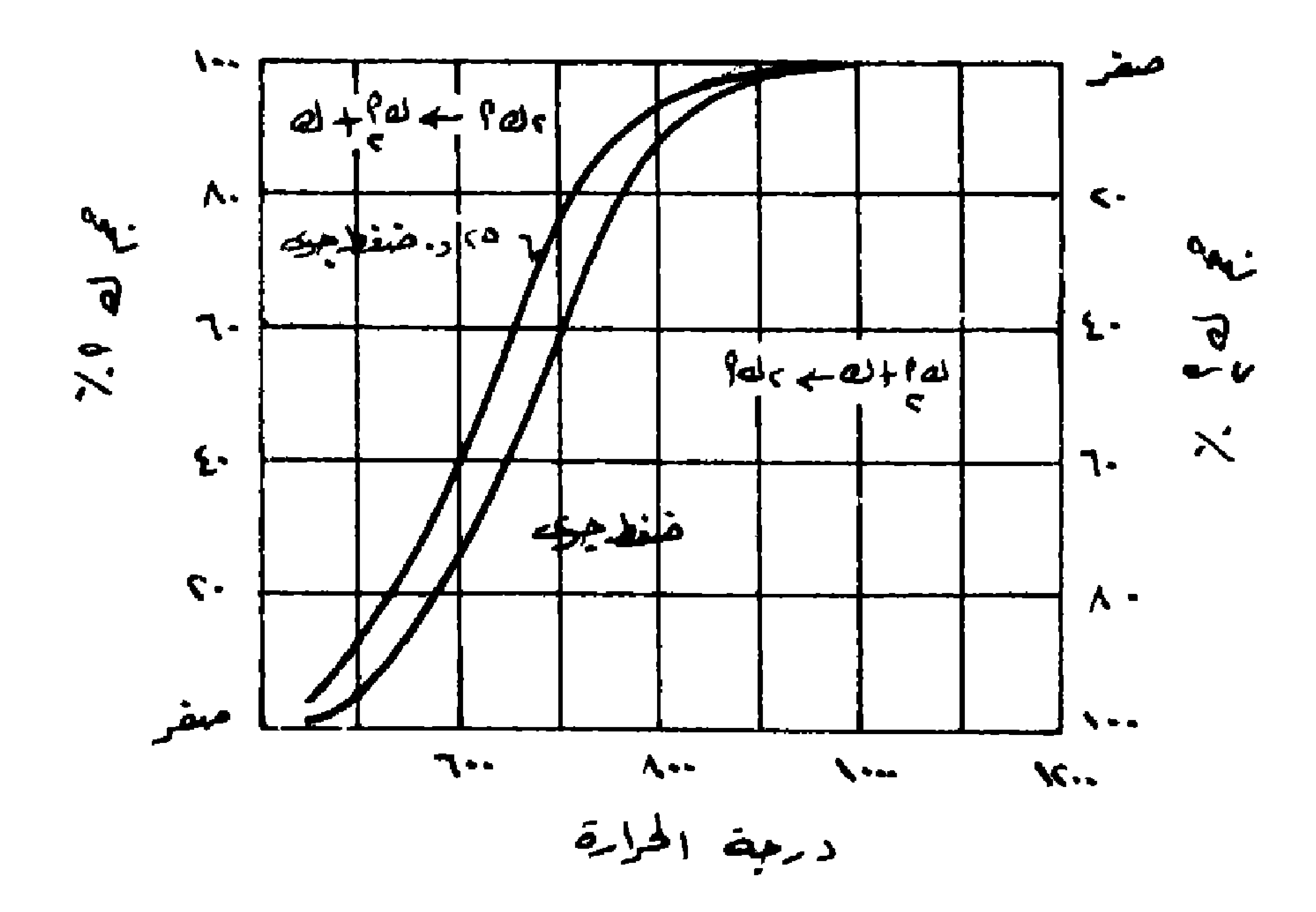
٢ ـ ٢ ك ا+ ا ⟶ ك ا غاز أول اكسيد الكربون ... ث٤ = (ض ٢ك ا) / (ض ا٢)

٣ ـ ٢ ك ا ⟶ ك + ك ا ٢ . . . . ث٣ = (ض ن ا٢) / (ض ٢ك ا)

٤ ـ ٢ ك ا + ا ٢ ⟶ ٢ ك ا ٢ . . . . ث٤ = (ض ٢ك ا٢) / (ض ٢ك ا ض ٢)

ونظرا لتضاؤل تركيز الأوكسيچين فى حالة الاتزان ، فأن ثابتى التفاعلين (١) ، (٢) يكونان كبيرين لدرجة أنه حدوث التفاعل فى الاتجاه العكسى ، يكون مستحيلا عمليا ، كما يلاحظ ان :

(ا) التفاعل رقم (٣) فى درجات الحرارة أقل من ١١٠٠° مطلقة ، لايمكن ان ينعكس



شكل ٢٩ – اتزان التفاعل ٢ك أ ⇄ ك أ٢ + ك
(تفاعل بودوار)

اتجاهه . بينما تنعكس العلاقة المحددة عاليه فى درجات حرارة أعلى من ذلك .

(ب) أن التفاعل رقم (٤) لايعكس اتجاهها إلا فى درجات حرارة أعلى من ٢٥٠٠° مطلقة .

وعليه يمكن القول ، بأن (ك ا) لايمكن أن يتحلل إلى مكوناته بالحرارة المحيطة بظروف تشغيل الفرن العالى ، بينما يتحلل (ك ا$_{٢}$) حسب المعادلة :

٢ ك ا$_{٢}$ ——— ٢ ك ا + ا$_{٢}$

فى درجات الحرارة وليس إلى كربون وأوكسيجين .

(ج) فى درجات الحرارة أعلى من ٩٠٠° م وفى وجود الكربون ، يتحلل (ك ا$_{٢}$) حسب الآتى :

ك ا$_{٢}$ + ك ——— ٢ ك ا

وعليه يتضح أنه فى درجات الحرارة العالية ، وفى وجود الكربون ، لايوجد سوى غاز أول أكسيد الكربون (ك ا) فقط فى حالة الثبات .

٢ ـ تفاعل بيل وتفاعل بودوارد :

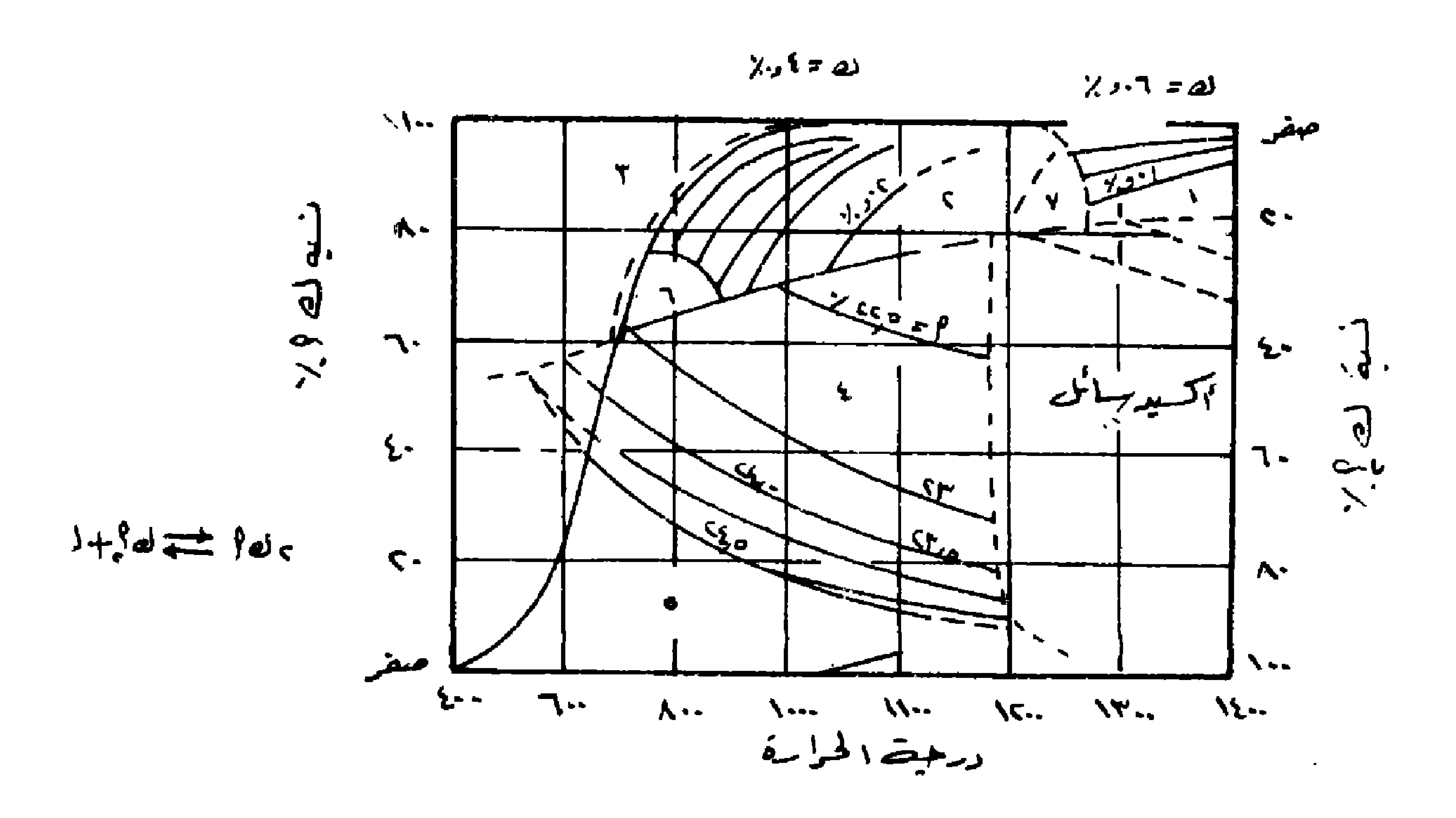
يحتل التفاعل رقم (٣) ،

٢ ك ا ——— ك ا$_{٢}$ + ك

مكانة خاصة فى الميتالورجيا ، خاصة فى حالة اختزال الأكاسيد . ويسمى عند حدوثه فى اتجاه السهم « تفاعل بيل » وعند حدوثه فى الإتجاه العكسى « تفاعل بودوارد » نسبة إلى مكتشفيه . ويحدد الشكل (٢٩) ، هذه العلاقة لنسب مختلفة من غازى (ك ا) ، (ك ا$_{٢}$) فى حالة الاتزان ، حيث يبلغ ضغط المجموعة فى أحداهما ١,٠ جوى ، وللأخرى ٠,٢٥ جوى ويتبين من الشكل ثبات أول أكسيد الكربون فى درجات الحرارة العالية ، بينما يكون (ك ا$_{٢}$) فى حالة الثبات فى حالة درجة الحرارة المنخفضة فقط .

وكل من تفاعل بودوارد وبيل يتأثر بالضغط طبقا لوساتيليه ، إذ أن ازدياد الضغط ، يدفع بالتفاعل فى اتجاه تكوين ثانى أكسيد الكربون ، والكربون ، وخفض الضغط يدفعه الى اتجاه تكوين أول أكسيد الكربون . بمعنى أنه فى درجة الحرارة الثابتة ، ولكى تظل المجموعة فى حالة اتزان ، يجب أن تزداد نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون ، كلما زاد الضغط الكلى للمجموعة .

كما يتضح من الشكل (٣٠) أن البعد بين الخط الممثل لعلاقة بودوارد والخطوط الممثلة لحالة الاتزان لأكاسيد الحديد المختلفة ، إنما يمثل فى الواقع مقياسا للقدرة الاختزالية للغاز .



شكل رقم ٣٠ - اتزان المجموعة حديد - أكسجين - كربون (كجم / سم٢)

٣ ـ اختزال أكاسيد الحديد بغاز أول أكسيد الكربون :

يلاحظ أن أكسيد الحديديك ، له ضغط تحلل أكبر من زميليه أكسيد الحديدوز وأكسيد الماجنيتيت ، وأنه في درجة الحرارة ١٤٠٠°م يصل الضغط الجزئي للاوكسيچين الناتج من التحلل إلى واحد ضغط جوى ، وعليه يتحلل أكسيد الحديديك ـ المعرض للجو ـ إلى أكسيد الماجنيت والأوكسيچين ، حسب التفاعل التالى :

ح ٢ ا ٣ ←(بالتسخين) ح ٣ ا ٤ ا ٢

بينما تتلاقى الخطوط الممثلة لتحلل أكسيد الحديد المغناطيسى وأكسيد الحديدوز عند درجة حرارة ٥٧٠° ، ويقع الخط الممثل لعلاقة تحلل أكسيد الحديد المغناطيسى فى درجات الحرارة التى تزيد على هذه الدرجة أعلى زميله الخاص بتحلل الحديدوز.

ويعنى هذا كله ، أنه يمكن ترتيب أكاسيد الحديد حسب قدرتها على الاستغناء عن الأوكسيچين المتحد بها وفى درجات الحرارة أعلى من ٥٧٠° ، على النحو التالى :

أكسيد حديديك ـ أكسيد الحديد المغناطيسى ـ أكسيد الحديدوز ، بمعنى أنه بتعريض هذه الأكاسيد للاختزال فى درجات الحرارة أعلى من ٥٧٠°م (بغاز أول أكسيد الصربون مثلا) فإنها تختزل على النحو التالى :

١ ـ أكسيد حديديك + غاز أول أكسيد الكربون ـ أكسيد الحديد المغناطيسى + ثانى أكسيد الكربون

٣ح٢ا٣ + ك ا ← ٢ح٣ا٤ + ك ا٢ ..... ث١ = ض ك ا٢ / ض ك ا

+ ١٥٠٥٠ سعرا

٢ ـ أكسيد الحديد المغناطيسى + أول أكسيد الكربون ـ أكسيد الحديدوز ـ ثانى أكسيد الكربون

ح٣ا٤ + ك ا ← ٣ ح ا + ك ا٢ ... ث٢ = ض ك ا / ض ك ا٢

- ٣٠٥٠ سعرا

٣ ـ أكسيد الحديدوز + أول أكسيد الكربون ← حديد + غاز ثانى أكسيد الكربون

ح ا + ك ا ← ح + ك ا٢ .... ث٢ = ض ك ا / ض ك ا٢

+ ٣١٥٠ سعر/ كجم حديد

وعليه فبتسخين الهياتيت فى جو مختزل ، يتحول أولا إلى أكسيد الحديد المغناطيسى ، ثم باستمرار رفع درجة الحرارة ، وزيادة تركيز عامل الاختزال ، يختزل أكسيد الحديد المغناطيسى إلى أكسيد الحديدوز ، وأخيرا وباستمرار رفع درجة الحرارة وزيادة تركيز المختزل ، يختزل الأخير إلى حديد . وبالمثل بتسخين خام الماجنينيت فى جو مختزل ، تصبح السلسلة كالاتى :

ماجنيتيت (أكسيد الحديد المغناطيسى) ——— أكسيد حديدوز ——— حديد .

ومن عاليه يتضح أن ثابت التفاعل ($ت_١$) أقل من ($ث_٢$) وهذا بدوره أقل من .

كما يتضح أن التفاعل الأول ، غير قابل الحدوث فى الاتجاه المضاد للسهم ، وأنه بأقل كمية موجودة من غاز أول أكسيد الكربون ، فى خليط منه مع غاز ثان أكسيد الكربون يختزل أكسيد الحديديك إلى أكسيد الحديد المغناطيسى مباشرة .

ويلاحظ من التشكل (٦٥) أن الخط الذى يمثل اختزال ($ح_٣ا_٤$) إلى (ح ا) ، يتجه مع ارتفاع درجة الحرارة إلى أسفل ، بمعنى انخفاض نسبة $\frac{ك ا}{ك ا_٢}$ اللازمة للتوازن مع انخفاض درجة الحرارة . ويمكن تعليل ذلك أن التفاعل :

$$ح_٣ا_٤ + ك ا ——— ٣ ح ا + ك ا . . . . . - ٥٣٥٠ سعرا$$

تفاعل ماص للحرارة وبمعنى ذلك أن أية زيادة فى درجة الحرارة ، تساعد استمرار التفاعل فى اتجاه السهم ، أى خفض ثابت التفاعل (ث٢) أى تخفيض نسبة (ك ا) إلى ($ك ا_٢$) اللازمة للتوزان .

كما يلاحظ أن الخط المبين للعلاقة المحددة لاختزال أكسيد الحديدوز إلى حديد ، يتجه لأعلى مع ارتفاع درجة الحرارة ، وذلك أيضا طبيعى حيث أن التفاعل :

$$ح ا + ك ا ——— ح + ك ا_٢ . . . . . . + ٣١٥٠ سعراً$$

أى تفاعل طارد للحرارة ، وبالتالى فإن زيادة الحرارة تخفض من سرعة التفاعل فى اتجاه السهم ، بمعنى زيادة النسبة $\frac{ك ا}{ك ا_٢}$ اللازمة للتوازن ، وبالتالى للاختزال .

كما يلاحظ تلاقى هاتين العلاقتين معا عند درجة ٥٧٠°م ، وهى درجة الحرارة التى يتساوى عندها ضغط التحلل لكل من أكسيد الحديد المغناطيسى وأكسيد الحديدوز

أما العلاقة المحددة لاختزال أكسيد الحديديك ، فنظراً إلى أن نسبة ($ك ا_٢$) اللازمة

للاتزان بالغة الانخفاض ، فإن الخط الذى يمثل هذه العلاقة يكاد ينطبق على محور درجات الحرارة عند ١٠٠٪ (ك ا٢) .

وتنقسم المساحة المحددة تحت الخط المحدد لعلاقة بودوارد إلى ثلاث مناطق .

١ ـ **المنطقة الأولى** « السفلى » ، وحيث نسبة (ك ا٢) فى غازات الاختزال مرتفعة ، ونسبة (ك ا) محدودة . وفى هذه المنطقة يتم اختزال أكسيد الحديديك إلى أكسيد الحديد المغناطيسى تماما ، بينما لم يبدأ بعد اختزال أكسيد الحديد المغناطيسى إلى أكسيد الحديدوز ، بمعنى أن هذه المنطقة تشمل منطقة ثبات أكسيد الحديد المغناطيسى ، فلو حدث وأن وجد أكسيد حديدوز فى هذه المنطقة (تحت ظروف الحرارة ونسب غازى أول أكسيد الكربون) ، وتتم أكسدته حسب المعادلة :

٣ ح ا + ك ا٢ ——— ح٣ ا٤ + ك ا

٢ ـ **المنطقة الوسطى** ، وتمثل منطقة ثبات أكسيد الحديدوز ، بمعنى أنه فى حالة وجود أى أكسيد حديد مغنطيسى فى ظروف هذه المنطقة ، يتم اختزاله إلى أكسيد حديدوز ، كما أنه إذا لم يوجد الحديد كمعدن بها ، لتم أكسدته حسب المعادلة الآتية :

ح + ك ا ——— ح ا + ك ا

وذلك لأن نسبة (ك أ٢) فى هذه الحالة ، تفوق نسبة الاتزان الديناميكى للتفاعل .

٣ ـ **المنطقة العليا** : حيث يوجد معدن الحديد بصورة ثابتة ، بمعنى أن أى أكسيد للحديد يوجد تحت الظروف المحددة للمنطقة يختزل الى معدن ، وذلك لارتفاع نسبة (ك ا) .

كما يتضح من الشكل نفسه ، أنه للحصول على الحديد باختزال أكاسيده ، يجب أن تكون نسبة أول أكسيد الكربون فى الغاز المختزل على الأقل ٦٥٪ والحرارة على الاقل ٧٠٠° م . ومع استمرار الاختزال تزداد نسبة (ك أ٢) ، وتنخفض نسبة (ك أ) ، بحيث يصبح هناك احتمال الوصول إلى اتزان للمجوعة ، بمعنى توقف التفاعل .

غير أن ذلك غير ممكن فى حالة الأفران العالية ، لانعدام احتمال الوصول إلى هذا التوازن تحت ظروف التشغيل العادية ، بالإضافة إلى وجود الكوك الحاوى للكربون بالفرن . وحسب تفاعل بودوارد وبيل ، وفى درجات الحرارة أعلى من ٧٠٠ م° ، يتم التفاعل :

ك أ٢ + ك ——— ٢ ك أ

بمعنى ، استهلاك (ك أ٢) الناتج من الاختزال ، وبالتالى فلا يمكن الوصول بأى حال إلى

الاتزان ، حيث أن الاختزال يستهلك كل (ك ا) الناتج من التفاعل عاليه ، كما أن هذا التفاعل يستهلك كل ثان أكسيد الكربون ناتج الاختزال .

هذا هو السبب فى أن أكسيد الحديد ، بالإضافة إلى أى أكاسيد للحديد ، يتم اختزالها حتى النهاية فى المنطقة العلوية (المنطقة ٣) . وبجمع التفاعلين المذكورين كالآتى :

$$ك\,ا_2 + ك \longrightarrow 2\,ك\,ا$$

$$ح\,ا + ك\,ا \longrightarrow ح + ك\,ا_2$$

ينتج أن : $ح\,ا + ك \longrightarrow ح + ك\,ا_2$ ثابت التفاعل = $ض_{ك\,ا_2}$

هذه العلاقة تمثل مايطلق عليه الاختزال المباشر .

والاختزال المباشر يحدث بالأفران العالية ، كما هو واضح آنفا ، غير أنه أقل أهمية من الاختزال غير المباشر (بالغاز) . ذلك لأن الأول يتطلب تلامس جسزئيات الكربون والأكسيد المطلوب اختزاله ، بينما يتمكن الغاز من اختراق المسام والشقوق بسهولة أكثر بالإضافة إلى وجود الخام محاطا بالغاز المختزل ، وبالتالى سهولة اختزاله من الأسطح .

ويلاحظ فى التفاعل المباشر ، أن ($ض_{ك\,ا}$) « الذى يعد ثابت التفاعل » ، هو ضغط غاز أول أكسيد الكربون المستحدث ، والذى لايتوقف على الضغط الجزئى لغاز أول أكسيد الكربون الكلى فى المجموعة ، ولكنه مرتبط بالضغط الكلى للغاز بالمجموعة ، وعليه **وحيث أن ($ض_{ك\,ا}$) يحدد ضغط الغاز لدرجة حرارة معينة ثابتة ، فإنه يتضح أن زيادة الضغط تقلل من سرعة هذا التفاعل . ولقد استغلت هذه العلاقة فى تحسين الاختزال غير المباشر بزيادة ضغط الغاز عند قمة الفرن العالى الحديث .**

٤ ـ اختزال أكاسيد الحديد بالهيدروجين :

يختزل الهيدروجين أكاسيد الحديد ، بنفس الترتيب المذكور فى حالة الاختزال بأول أكسيد الكربون ، بمعنى اختزال أكسيد الحديديك إلى أكسيد الحديد المغناطيسى ، وهذا إلى أكسيد الحديدوز ، والأخير إلى حديد فوق درجة حرارة ٧٠٠ م° ، كما يلى :

١ - $3\,ح_2ا_3 + ن_2 \longrightarrow ح_3ا_4 + ن_2ا$

+ ٥٢١٠ سعرا

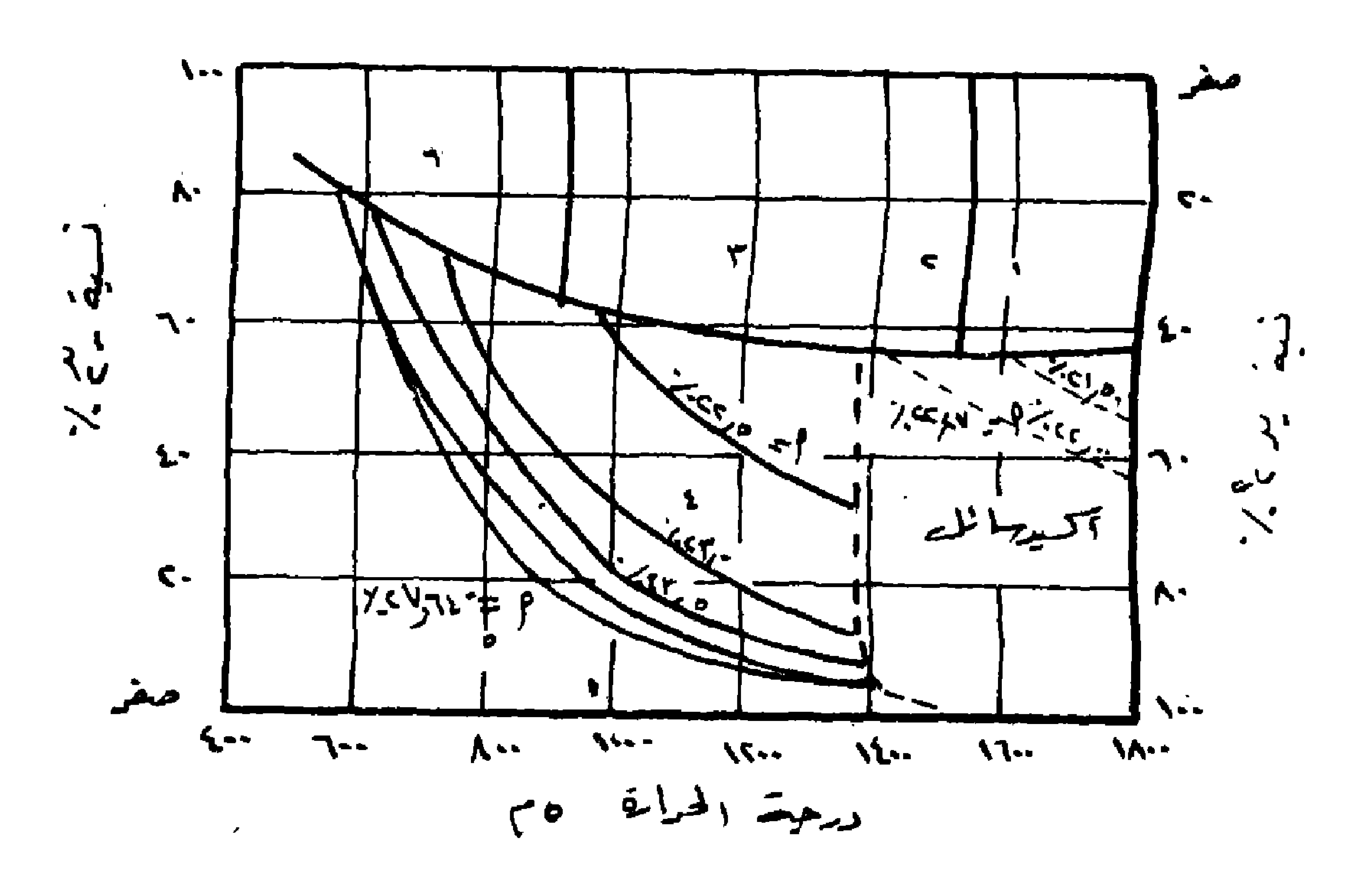
٢ - $ح_3ا_4 + ن_2 \longrightarrow 3\,ح\,ا + ن_2ا$

+ ١٥٩٠ سعرا

٣ - $ح\,ا + ن_2 \longrightarrow ح + ن_2ا$

+ ٦٦٩٠ سعرا

ويبين الشكل (٣١) ، نسبة الهيدروجين وبخار الماء (مجموعهما ١٠٠٪) المناظرين



شكل رقم ٣١ - اتزان المجموعة حديد - أكسجين - هيدروجين

لاتزان التفاعلين (٢) ، (٣) عند درجات الحرارة المختلفة ، وتحت ضغط يعادل ١ كجم/ سم^{٢} والتفاعل رقم (١) يتم فى اتجاه السهم عند توافر أقل نسبة من الهيدروچين فى الغاز الخليط ، بحيث يكاد الخط المحدد لعلاقة اتزان التفاعل ، ينطبق مع محور درجات الحرارة ، حيث نسبة بخار الماء تساوى ١٠٠٪ تقريبا .

وينقسم الشكل إلى ثلاث مناطق أيضا ، تحدد مناطق ثبات أكاسيد الحديد المغناطيسى ، وأكسيد الحديدوز ، والمعدن ، على التوالى ، فى الاتجاه لأعلى الشكل .

وفى مجال المقارنة بين الاختزال بأول أكسيد الكربون والهيدروچين ، نجد أن الاحتياجات الحرارية التى تلازم تفاعلات الاختزال بالهيدروچين ، أقل من تلك التى تلازم الاختزال بأول أكسيد الكربون ، وذلك مرجعه إلى اختلاف كمية حرارة التكوين لثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، حسب الآتى

ن$_{٢}$ + $\frac{١}{٢}$ ا$_{٢}$ ——— ن$_{٢}$ ا .... + ٥٧٨١٠ سعرا

ك ا + $\frac{١}{٢}$ ا$_{٢}$ ——— ك ا$_{٢}$ .... + ٦٧٦٥٠ سعرا

\- ٩٨٤٠ سعرا

وهذا الفارق ثابت فى أى تفاعلات لجزيء من الهيدروچين وجزيء من أول أكسيد الكربون .

كما يلاحظ أن مجال استخدام (ك أ) أكبر فى الميتالورجيا بسبب تكوينه وإمكانية إعادة تركيزه فى محيط جو التفاعلات عن طريق تفاعل بودوارد .

هذا بالإضافة إلى أن (ك أ) ليس عامل اختزال فقط ولكنه عامل كربنة للحديد الناتج ، حسب العلاقة التالية :

٣ ح + ٢ ك ا ——— ح$_{٣}$ك + ك ا$_{٢}$

وهذا أمر ضرورى وحيوى فى حالة إنتاج الحديد الزهر .

كما يلاحظ أن الاختزال بالهيدروچين فى درجات الحرارة من ٨٢٠° م أفضل من الاختزال بغاز أول أكسيد الكربون ؛ ويعنى ذلك أن نسب الغاز المختزل (ك أ) إلى (ك ا$_{٢}$) اللازمة للحصول على درجة معينة من الاختزال فى درجات الحرارة أقل من ٨٢٠ ، تكون أقل من نسبة (ن$_{٢}$) إلى (ن ا$_{٢}$) اللازمة للوصول إلى نفس درجة الاختزال عاليه .

وتتقارب قدرة الاختزال لكل من الغازين ، بارتفاع درجة الحرارة حتى ٨٢٠ م° حيث يتساويا . وعند هذه الدرجة يصبح ثابت التفاعل :

ك ا + ن٢ ا ——— ك ا٢ + ن٢ ..... ث = (ض ك ا٢ ض ن٢ ا) / (ض ك ا ض ن٢ ٢)

مساويا للواحد الصحيح بمعنى أن :

ف = ١ = (ض ك ا / ض ك ا٢) / (ض ن٢ / ض ن ا٢)

ويسمى هذا التفاعل (تفاعل الماء والغاز) .

من كل ماذكر ، يتضح أن كل تفاعلات اختزال أكاسيد الحديد ، يمكن أن تتم فى درجات حرارة منخفضة عن درجة حرارة بدء انصهاره ، وبالتالى يمكن أن يوجد الحديد فى صورة بلورات من المعدن صغيرة فى حالة صلبة موزعة فى المسام داخل الخام ، التى تولدت نتيجة سحب الأوكسيچين منه . ويأخذ الحديد الذى اختزل بهذه الصورة الشكل الإسفنجى . ويتلامس سطح المعدن المتكون مع غاز أول أكسيد الكربون ومع ارتفاع درجة الحرارة ، يتم التفاعل :

٣ ح + ٢ ك ا ——— ح٣ ك + ك ا٢ ثابت التفاعل = ض ك ا / ض ك ا٢

وينتج من التفاعل كربيد الحديد الذى يذوب بدوره فى الحديد المختزل ، فتنخفض بذلك درجة حرارة انصهاره ، وبالتالى ينساب ذلك الحديد المختزل على هيئة قطرات من الحديد الزهر ، ليتجمع فى النهاية فى بودقة الصهر .

الحصول على حديد نقى :

يمكن اختزال أكاسيد المعدن فى خاماته فى حالة الصلابة عند درجات الحرارة المنخفضة نسبيا ، ويكون الحديد الناتج فى هذه الحالة نقيا من الشوائب ، كالكربون ، أو السيليكون ، أو المنجنيز . ومن المعروف أن حديد الفا ، الثابت حتى درجة حرارة ٩٠٦ م ، له قابلية تكاد تكون منعدمة لإذابة الكربون . بمعنى أنه إذا ما تم تسخين الخام تدريجيا ، وبنظام محدد ، فى جو مختزل ، ثم أوقف الاختزال بوصول درجة الحرارة إلى هذه الدرجة ، فإنه يمكن بعد تكسير الخام المختزل ، وإجراء عمليات فصل مابه من معدن (بالفصل المغناطيسى ، أو باستغلال اختلاف الوزن النوعى أو ، إلخ . . .) فإنه يمكن الحصول على حديد يكاد يكون نقيا من الشوائب . وتعتبر هذه طريقة للحصول على الحديد النقى مباشرة . ويشترط فيها إتمامها فى درجات حرارة دون درجة الانصهار .

٥ ـ تحلل الكربونات :

يتحد ثانى أكسيد الكربون مع أكاسيد المعادن مكونا كربوناتها ، مثل السيدريت (كربونات الحديدوز (ح ك أ$_{٣}$) أو كربونات الحديدوز ، أو كربونات الرصاص « السيروزيت (رك أ$_{٣}$) ، إلخ . . . وتتحلل هذه الكربونات بتسخينها إلى ثانى أكسيد الكربون وأكسيد المعدن حسب الآتى :

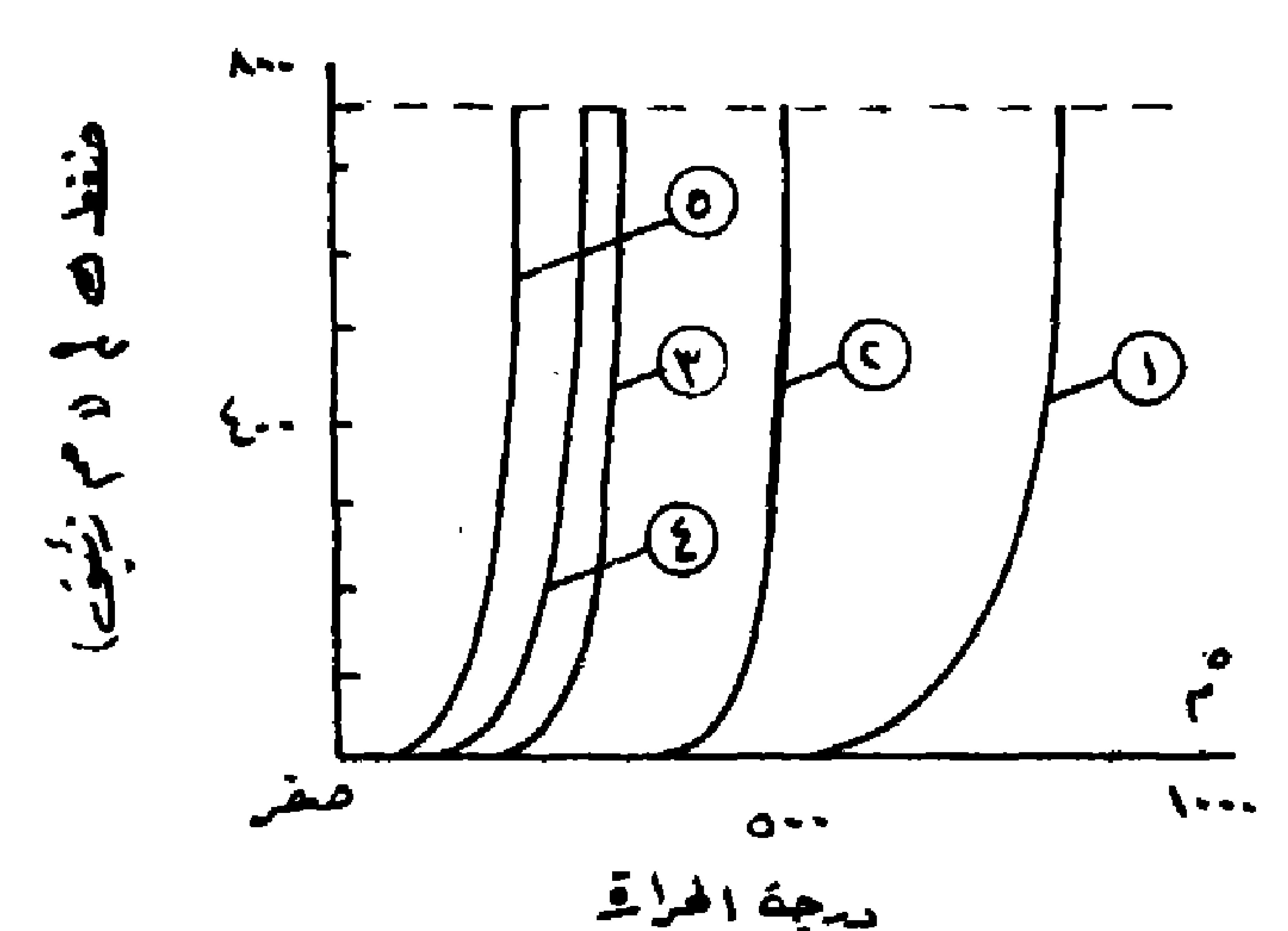
ح ك أ$_{٣}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ ح أ + ك أ$_{٢}$ . . . . ثابت التفاعل = ض ك أ$_{٢}$

ويعنى ذلك ، إمكان الحصول على أكاسيد هذه المعادن بتسخين كربوناتها . وتسمى هذه العملية بالكلسنة ، ثم معالجة الناتج بعد ذلك بالاختزال للحصول على المعدن .

ويلاحظ أن التفاعل فى اتجاه السهم ، تفاعل ماص للحرارة ، أى زيادة سرعته فى نفس الاتجاه مع زيادة درجة الحرارة ؛ بمعنى أنه لو وجد السيدريت فى مكان مغلق ، ورفعت درجة الحرارة بالتسخين (بتيار كهربائى مثلا) فإنه يبدأ فى التحلل عند درجة الحرارة التى يصبح فيها ضغط التحلل (ض ك أ$_{٢}$) مماثلا للضغط الجزئى لغاز ثانى أكسيد الكربون فى جو المكان أعلى الكربونات والأكسيد ، ومع استمرار رفع درجة الحرارة ، تزداد سرعة التحلل ، حتى الوصول إلى حالة الاتزان .

وعليه فلو كانت الكربونات موجودة فى مكان مفتوح ، فإنه بارتفاع درجة الحرارة ، يزداد ضغط التحلل (ض ك أ$_{٢}$) ويزداد تبعا لذلك خروج غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يندفع إلى الجو ، بمعنى ابتعاد ناتج التفاعل عن محيط التفاعل ، وبالتالى التأثير على اتزان المجموعة ، بمعنى استمرار التفاعل فى اتجاه السهم ، ويبلغ التفاعل أقصاه ، عندما يصل ضغط التحلل بارتفاع درجة الحرارة إلى ضغط جوى .

والشكل (٣٢) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة وضغط التحلل لبعض الكربونات الهامة ، والتى تلعب دورا فى تفاعلات الأفران العالية ، وهى كربونات الحديد (السيدريت ح ك أ$_{٣}$) ، وكربونات الكالسيوم (الحجر الجيرى كا ك أ$_{٣}$) ، وكربونات المغنيسيوم (مغ ك أ$_{٣}$) .



شكل ٣٢ـ ضغط تحلل بعض الكربونات بدرجات الحرارة

ويلاحظ من الشكل ترتيب تحللها كالآتى :

كربونات الحديد ، ثم كربونات المغنيسيوم ، ثم كربونات الكالسيوم . كما هو واضح من الجدول الثانى :ـ

. . . .	كربونات الحديد	كربونات الماغنسيوم	كربونات الكالسيوم
درجة حرارة بدء التحلل م	٣٨٠	٤٠٠	٦٠٠
درجة الحرارة التى يصل فيها إلى ضغط جوى	—	٥١٠	٨٨٣

وهذا التفاعل يمكن حدوثه فى الاتجاه المضاد ، وذلك بزيادة ضغط غاز ثانى أكسيد الكربون أعلى الأكسيد (بفرض أنهما فى مكان مغلق) .

وتأتى أهمية هذه التفاعلات بالنسبة للأفران العالية . ليس فقط من أنها تفاعلات ماصة للحرارة ، وبالتالى تؤثر على الميزان الحرارى للفرن ، وتقلل من سرعة تجهيز الشحنة وإعدادها ، لكن ، لأنها تؤثر فى قدرة غازات الأفران العالية الاختزالية ، فتقللها نتيجة إضافة ثانى أكسيد الكربون الناتج من التحلل .

هذا بالاضافة إلى أن خروج غاز ثانى أكسيد الكربون ناتج تحلل الكربونات ، يغلق المسام والفتحات أمام دخول غاز الأفران العالية ، وبالتالى فى حالة السيدريت ، يؤخر من بدء اختزال الخامة إلى حد ما ولكن حيث أن تحلل السيدريت يتم فى درجات حرارة منخفضة ـ تكون سرعة تفاعل الاختزال فيها محدودة وبطيئة ـ فإن تأثير خروج ثانى أكسيد الكربون ، يكاد يكون غير ذى خطورة ، على سرعة إتمام سلسلة تفاعلات الاختزال .

٦ ـ تحلل الأكاسيد العالية ، والهيدروكسيدات والكبريتيدات :

على غرار ماسبق ذكره ، تتحلل الأكاسيد العالية ، والهيدروكسيدات ، والكبريتيرات ، والكبريتات ، مع ارتفاع درجة الحرارة ، وزيادة ضغط تحلل كل منها ، ويتبع هذا التحلل تكون غازات عديدة مثل الأوكسيچين ، وبخار الماء ، وثالث أكسيد الكبريت على التوالى .
ونورد فيما يلى بعضا من هذه التفاعلات ، على سبيل المثال وليس الحصر :

(ا) الأكاسيد العالية :

٣ ح$_{٢}$ ا$_{٣}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ ٢ح$_{٣}$ ا$_{٤}$ + ا$_{٢}$ . . . . ث$_{١}$ = ض ا$_{٢}$

(ا) الأكاسيد العالية :

٢ ح$_{٣}$ ا$_{٤}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ ٦ح ا + ا$_{٢}$ . . . . ث$_{٢}$ = ض ا$_{٢}$

٤ غ ا $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ ٢ غ$_{٢}$ ا + ا$_{٢}$ . . . . ث$_{٣}$ = ض ا$_{٢}$.

(ب) الهيدروكسيدات :

٢ ح (ا يد)$_{٣}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ ح$_{٢}$ا$_{٣}$ + ٣ يد$_{٢}$ ا . . . . ث$_{٤}$ = ض$^{٣}_{ن}$ ا$_{٢}$

٢ لو (ا يد)$_{٣}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ لو $_{٢}$ا$_{٣}$ + ٣ يد$_{٢}$ ا . . . . ث$_{٥}$ = ض$^{٣}_{ن}$ ا$_{٢}$

كا (ا يد)$_{٢}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ كا + يد$_{٢}$ ا . . . . ث$_{٦}$ = ض$^{٣}_{يد}$ ا$_{٢}$

(ج) الكبريتات :

كا كب ا$_{٤}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ كا ا + كب ا$_{٣}$ . . . . ث$_{٧}$ = ض كب ا$_{٣}$

غ كب ا$_{٤}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ غ ا + كب ا$_{٣}$ . . . . ث$_{٨}$ = ض كب ا$_{٣}$

ح$_{٢}$ (كب ا)$_{٤}$ $\xrightarrow{\text{بالتسخين}}$ ح$_{٢}$ ا$_{٣}$ + ٣ كب ا$_{٣}$ . . . . ث$_{٩}$ = ض كب ا$_{٣}$

٧ ـ طرق تخليص المعدن من الكبريت :

واستكمالاً للهدف من شرح بعض التفاعلات عن طريق ربطها بنظريات الكيمياء الطبيعية وقوانين الديناميكا الحرارية ، نرى لزاما التعرض لبعض التفاعلات الهامة التى تحدث فى صناعة الحديد والصلب عامة ، وفى الأفران العالية خاصة ، فى شرح مبسط هادف ، وأهمها :ـ

١ ـ إزالة الكبريت : يمكن أن يتم التخليص جزئيا من الكبريت الموجود بالحديد الزهر ، بإحدى الطرق التالية :

١ ـ استخدام المنجنيز :

ويتم ذلك حسب التفاعل الآتى :

كبريتيد الحديدوز + منجنيز ——— كربتيد منجنيز + حديد

ح لب + م ——— م كب + ح

وحيث إن كبريتيد الحديد قابل للذوبان فى الحديد ، يتضح أن هذا التفاعل يصل إلى حالة الاتزان قبل تخليص الحديد الزهر من كل الكبريت الموجود به . وبالتالى يمكن القول بأنه لايمكن إزالة الكبريت من المعدن كلية ، عن طريق استخدام المنجنيز فقط . ولكن من المعروف أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة ، كلما ارتفعت نسبة المنجنيز التى توجد فى اتزان مع كمية معينة من الكبريت ، بمعنى أن التخلص من الكبريت باستخدام المنجنيز ، يتحسن مع انخفاض درجة الحرارة ، مما يدعو أحيانا إلى تخفيض سرعة القطار الذى ينقل الحديد الزهر ـ المحتوى على المنجنيز والكبريت ـ مابين الأفران والصلب .

٢ ـ باستخدام الخبث : عند انسياب قطرات الحديد داخل الفرن ، واختراقها طبقة الخبث ، تتم إزالة الكبريت من سطحها ، بواسطة جير الخبث حسب التفاعل :

أكسيد الكالسيوم + كبريتيد الحديد ——— كبريتيد الكالسيوم + أكسيد الحديدوز

كا ا + ح كب ——— كا كب + ح ا

ويدخل كبريتيد الجير الخبث بالانتشار ، أما أكسيد الحديدوز ، فيختزل بعدئذ بواسطة كربون الكوك اختزالاً مباشراً كالآتى :

أكسيد حديدوز + كربون ——— حديد + أول أكسيد الكربون

ح ا + ك ——— ح + ك ا

وتتخلف عن ذلك فقاعات غاز أول أكسيد الكربون على سطح القطرة ، مما يقلل من وزنها النوعى ، فتطفو داخل الخبث ثانية ، وهكذا تتكرر الدورة مع المزيد من إزالة الكبريت ويتم ذلك أيضا مع الماغنيسيا وأكسيد المنجنيز حسب الآتى :

كبريتيد الحديدوز + الماغنيسيا ——— أكسيد الحديدوز + كبريتيد الماغنيسيوم

١ـ ح كب + مغ ا ——— ح ا + مغ كب

٢ـ ح كب + م ا ——— ح ا + م كب

كبريتيد الحديدوز + أكسيد المنجنيز ——— أكسيد الحديدوز + كبريتيد المنجنيز

ينتج أن إجمالى الكبريت (كب) = [كب$_{ح}$] + [كب$_{م}$] + [كب$_{مغ}$] + [كب$_{كا}$]

حيث (كب)$_{م}$ ـ كمثال ـ تعنى الكبريت المتحد بالمنجنيز فى الخبث .

ومنه يتضح أن إزالة كبريت المعدن تتحسن كلما ازدادت نسبة توزيع الكبريت بين الخبث والحديد ، وهذه تتوقف كما وضح آنفا على :

(١) كمية الجير غير المرتبط والماغنيسيا فى الخبث (٢) كمية المنجنيز فى الحديد

٣ ـ انخفاض نسبة الأوكسيچين فى الخبث والحديد (٤) ارتفاع درجة الحرارة .

(٥) توافر جو مختزل .

وتتراوح نسبة الكبريت التى يمكن التخلص منها مابين ٥ إلى ٢٠٪ من الكمية المشحونة فى حالة الخبث القاعدى ، بينما تصل حتى ١٪ فقط فى حالة الخبث الحامضى ، ذلك لأن كبريتيد الكالسيوم وكبريتيد الحديد ، لها قابلية صغيرة للذوبان فى الخبث الحامضى .

ولما كان وجود شوائب المعدن الأخرى كالسيليكون والكربون والفوسفور لها تأثيرها على مدى إمكانية التخلص من الكبريت ، بسبب تأثيرها على المؤشرات المذكورة ، فإنه قد أمكن استغلال ذلك فى قياس درجة التخلص من الكبريت بالفرن العالى ، وذلك بمعرفة كمية السيليكون الذائبة فى المعدن ، حيث أن :

٢ [كا ا] + ٢[ح كب] ——— ٢ [ح ا] + ٢ [كا كب]

٢ [ح ا] + [س] ——— [س ا$_{٢}$] + ٢ [ح]

[س] + ٢[كا ا] + ٢ [ح كب] ——— ٢ [كا لب] + [س ا$_{٢}$] + ٢ [ح]

حيث يكون ثابت التفاعل :

$$\text{ت} = \frac{(\text{كا كب})_{2} \; (\text{س أ}_{2}) \; (\text{ح})^{2}}{(\text{ح كب})_{2} \; (\text{كا أ})_{2} \; (\text{س})} \quad \ldots\ldots (1)$$

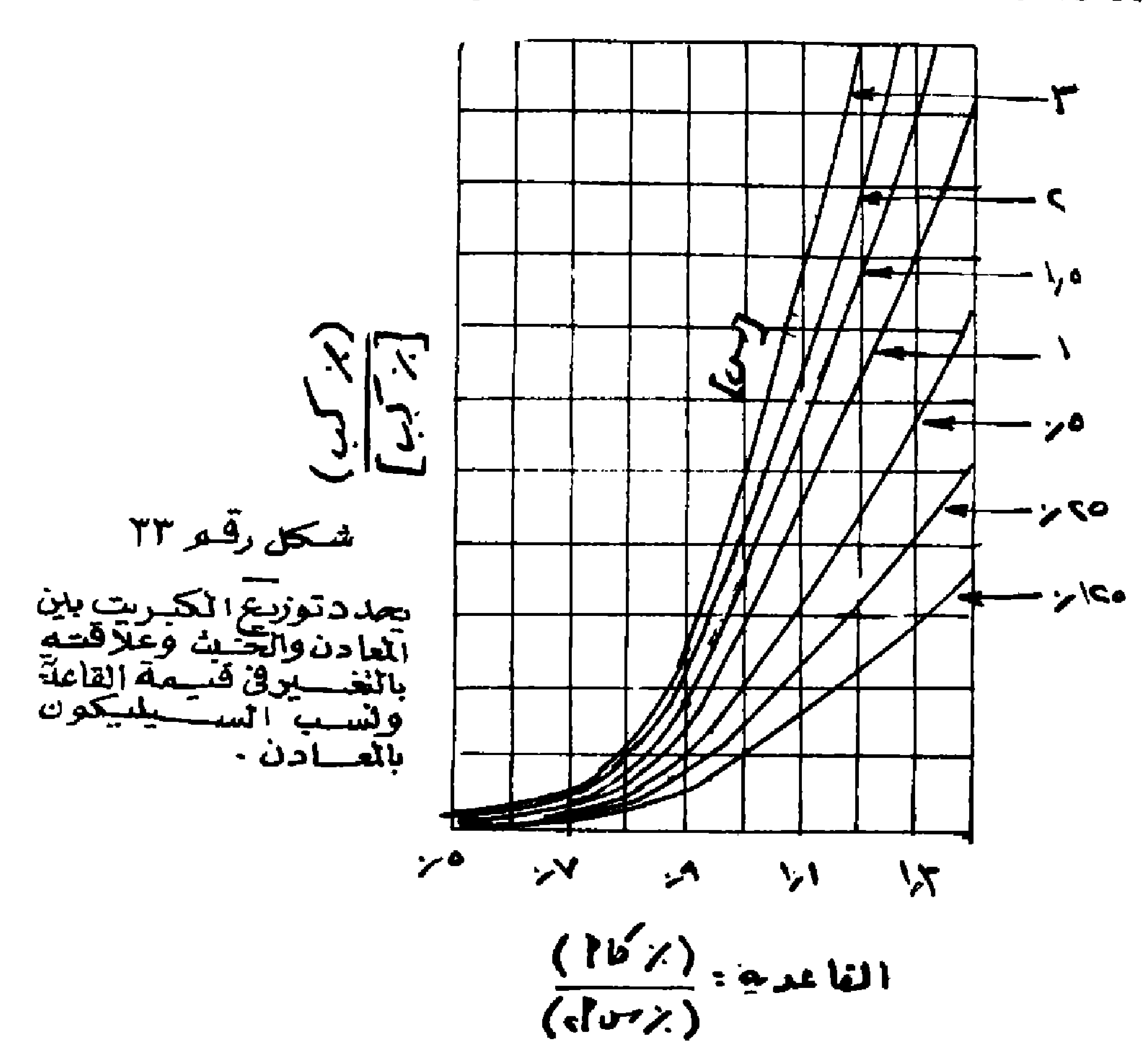
وحيث أن $\frac{(\text{كا أ})}{(\text{س أ}_{2})}$ مقدار ثابت يمثل (قاعدية الخبث)

يتضح أنه يمكن كتابة المعادلة (١) كالاتى :

$$\text{ثابت} = \frac{(\text{كا كب})^{2}}{[\text{ح كب}]^{2} \; [\text{س}]} = \frac{(\text{كب})}{[\text{كب}] \cdot [\text{س}]} = \text{ل}_{\text{كب}} \cdot \frac{1}{[\text{س}]}$$

حيث ل $_{\text{كب}}$ درجة توزيع الكبريت بين الخبث والحديد

ومنه يتضح إمكانية الحكم على مدى إزالة الكبرت بالفرن العالى ، بمعرفة نسبة السيليكون فى الحديد الزهر . والشكل (٣٣) يوضح هذه العلاقة .



شكل رقم ٣٣

يحدد توزيع الكبريت بين المعادن والخبث وعلاقته بالتغير فى قيمة القاعدة ونسب السيليكون بالمعادن .

٣ ـ إزالة الكبريت خارج الفرن العالى :

يتم ذلك بإضافة الصودا الكاوية أو « كربونات الصوديوم » (ص$_٢$ ك أ$_٣$) أو كربيد الكالسيوم (كا ك$_٢$) إلى المعدن فى بوادق الصب ، أو خلال انسيابه فى مجارى الحديد ، ويتبع ذلك خروج غازات وأبخرة ضارة . ويمكن بإضافة هذه المواد بنسب مختلفة التخلص من ٤٠ إلى ٧٠٪ من الكبريت الأصلى الموجود بالمعدن . ويتم التفاعل كالآتى :

(أ) كربونات الصوديوم :

كربونات الصوديوم + كبريتيد الحديد + الكربون ⟵ كبريتيد الصوديوم + أكسيد الحديدوز

ص$_٢$ ك ا$_٣$ + [ح كب] + ك ⟵ (ص$_٢$ كب) + ح ا + ك ا + أول أكسيد الكربون

(ب) كربيد الكالسيوم :

كربيد الكالسيوم + أكسيد الكالسيوم + كبريتيد الحديد ⟵ حديد + كبريتيد الكالسيوم كا ك$_٢$ + كا ا + ٣ [ح كب] ⟵ ٣ [ح] + ٢ كا كب + ٢ كب ا + أول أكسيد الكربون

وليس للإضافات المذكورة ، تأثير على تحليل باقى مكونات الحديد الزهر ، ولكن تأثيرها اقتصاديا يتمثل فى زيادة تكاليف مرحلة إنتاج الحديد الزهر .

٨ ـ علاقة نسبة كل من المنجنيز والسيليكون فى الحديد الزهر :

من العلاقات الهامة بالنسبة لتفاعلات الأفران العالية ، تلك العلاقة مابين عنصرى المنجنيز والسيليكون ، والتى يمكن إيضاحها حسب مايلى :

١ ـ يختزل كربون الكوك فى درجات الحرارة العالية جزءا من سيليكا الخبث وكما يلى :

(س ا$_٢$) + ٢ ك ⟵ [س] + ٢ ك ا (١)

٢ ـ كما يختزل كربون الكوك جزءا من أكسيد المنجنيز الموجود فى الخبث حسب التفاعل الآتى :

٢ (م ا) + ٢ ك ⟵ ٢ (م ا) + [س] (٢)

ويطرح (٢) من (١) ينتج :

(س ا$_٢$) + ٢ [م] ⟵ ٢ (م ا) + [س] (٣)

حيث ثابت التفاعل :

حيث أن (س أ٢) = ثابت

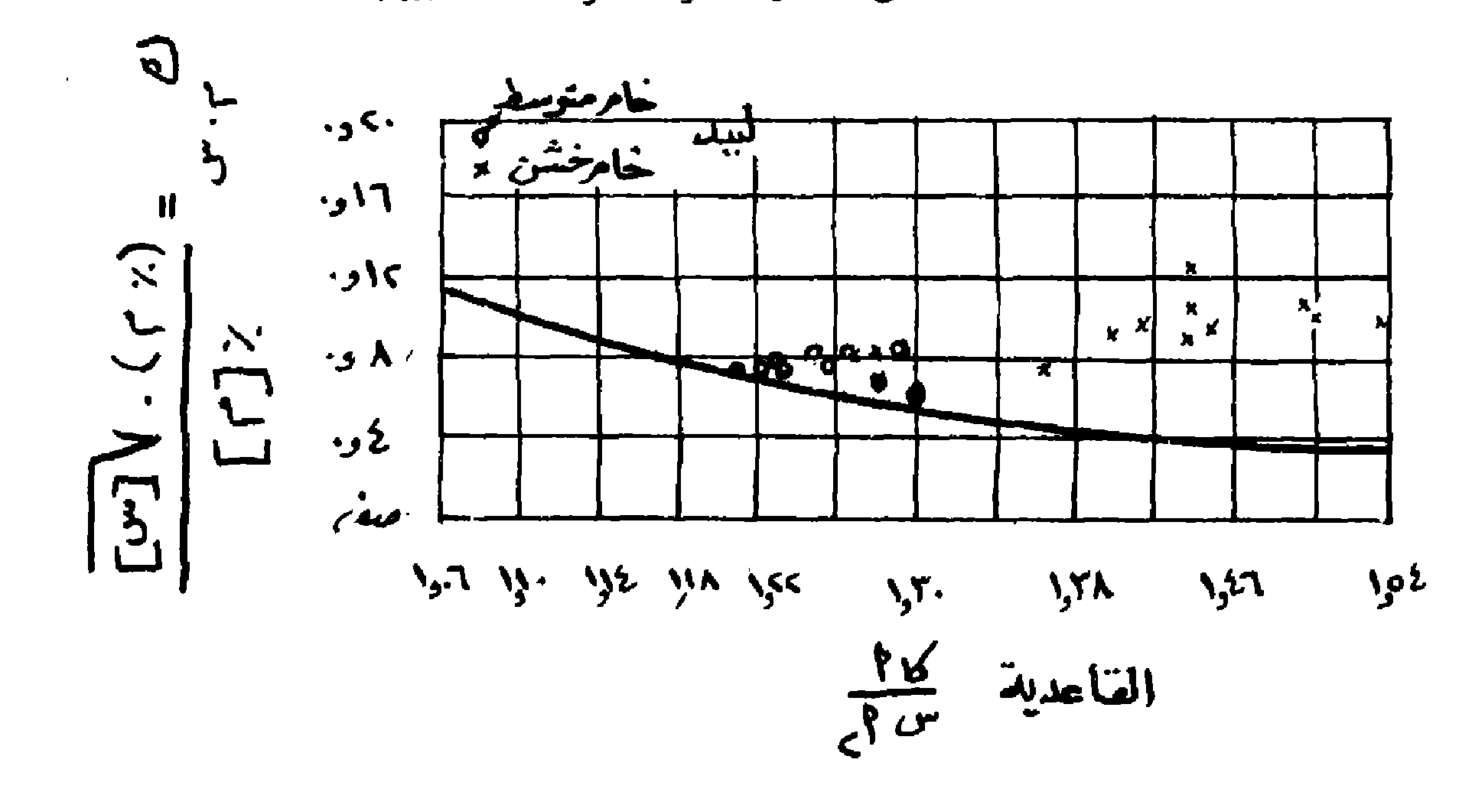
والشكل (٣٤) يبين العلاقة بين الثابت المذكور وقاعدية الخبث ، ومنه يتضح أنه بتحليل أى من السيليكون أو المنجنيز ، يمكن معرفة نسبة الآخر بالمعدن .

التفاعلات الكيمائية بالفرن العالى :

بعد هذا الاستعراض السريع المبسط للأسس والقوانين التى تحكم أهم التفاعلات التى تتم بالأفران العالية ، وحتى يمكن الإلمام بما يحدث داخل الفرن ، ولزيادة الايضاح ، رؤى تقسيم هذه التفاعلات إلى مايلى :

١ ـ التفاعلات والتغييرات التى تعترى عامود الشحنات الهابطة .

٢ ـ التفاعلات والتغييرات التى تعترى عامود الغازات الصاعدة .



شكل رقم ٣٤ ـ يحدد العلاقة بين قيمة الثابت ك س م وقاعدية الخبث

١ ـ التفاعلات والتغييرات التى تعترى عامود الشحنات الهابطة :

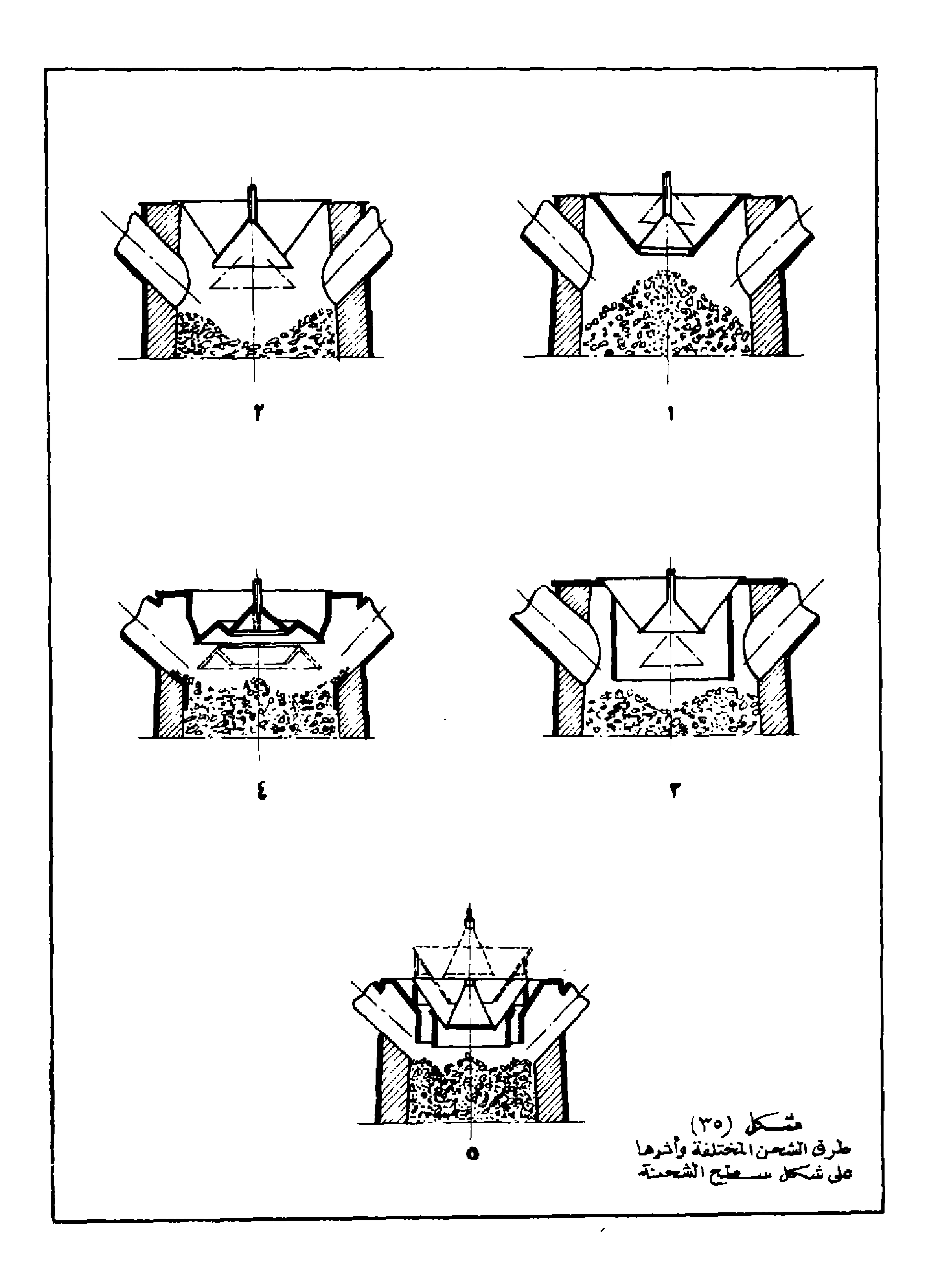
تشحن عادة مكونات شحنة الأفران العالية من الخام والإضافات ومساعد الصهر مع بعضها بعضا ، كوحدة مجتمعة ، بينما يشحن الكوك اللازم لها كوحدة منفصلة عنها . ويجرى ذلك فى شحنات متعاقبة ، وحسب نظام الشحن المحدد للتشغيل ، لتكتسب المشحونات شكل **طبقات متجانسة منفصلة إلى حد ما ، فى أعلى الفرن الشكل (٣٥) ، وباستمرار الهبوط والتعرض لدرجات الحرارة المتزايدة ، تمازج هذه الطبقات وتختلط مكوناتها بعضها مع بعض ، ويزداد هذا الاختلاط والتمازج ، كلما هبطت الشحنات إلى مستوى أقل .**

وتمر المشحونات فى هبوطها بمناطق الفرن المختلفة ، فتتعرض للظروف التى تتميز كل منها بها . ولسهولة تفهم ماحدث بداخل الفرن من تفاعلات ، سنسردها فيما يلى بالتفصيل ، موزعة على مناطق الفرن المتتالية ، ويجب ملاحظة أننا نتعرض لهذه التفاعلات من الناحية النظرية البحتة ، دون الأخذ فى الحسبان ، التأثير الذى يحدث نتيجة المؤثرات الأخرى مثل طبيعة المشحونات ، أو التوزيع الحجمى لمكوناتها ، أو شكل الفرن وحجمه ، أو درجة حرارة الهواء اللافح ، الخ . .

وفى الحقيقة ، لايمكن القول بأن هذا التفاعل أو ذلك ، يتم على ارتفاع معين من فتحات نفخ الهواء بالفرن ، ذلك لأن الظروف الطبيعية والكيميائية ، التى تلعب دورا هاما فى سرعة وكيفية ونتائج هذه التفاعلات ، تتغير داخل الفرن الواحد من لحظة لأخرى . كما أنها بديهيا تختلف من فرن لآخر . ولكن ، وتجاوزا عما جاء آنفا وللإيضاح ، يمكن تقسيم هذه التفاعلات على مناطق الفرن المختلفة كما يلى :

(ا) التفاعلات التى تتم فى الجزء العلوى من المخروط العلوى :

تتعرض المشحونات فى هذه المنطقة لعامود الغازات الصاعدة الساخن ، فترتفع درجة حرارتها تدريجاً حتى ٤٠٠ إلى ٤٥٠ م° ، ونتيجة لذلك ، تتطاير الرطوبة التى يحتويها الكوك والخامات المشحونة ، والتى يتم التخلص منها نهائياً عند رفع درجة حرارة هذه المشحونات إلى ٢٠٠° م . ولما كانت بعض خامات الحديد والإضافات قد تحتوى الماء فى صورة مركب كيانى متحد بها ، فإن التخلص منه يقتضى رفع درجة حرارة هذه الخامات إلى أعلى من هذه القيمة (تقريباً ٣٥٠° م) ، حتى يصل ضغط التحلل لبخار الماء إلى ضغط الغازات



شكل (٣٥)
طرق الشحن المختلفة وأثرها
على شكل سطح الشحنة

المحيطة . ويعنى ذلك أن خروج الماء المتحد كيميائيا بالخامات يتم فى هذه المنطقة من الفرن ، ومثال ذلك :

ح٢ ا٣ ن ن٢ ا ———• ح٢ ا٣ + ن ٢ ن٢ ا

لو ٢ ا٣ - س ا٢ . ٢ يد٢ ا ——— لو ٢ ا٣ + س ا٢ + ٢ يد٢ ا

وهنا يجب ذكر أن درجة الحرارة المقصودة ، هى درجة حرارة مركز قطعة الخام ، وليس درجة حرارة أسطحها الخارجية .

(ب) التفاعلات بباقى المخروط العلوى والأسطوانة :

فى هذه المنطقة ترتفع درجة الحرارة تدريجاً من ٤٠٠° م الى ١٠٠٠° م . وفى الجزء العلوى منها عند درجة حرارة ٤٠٠ الى ٥٠٠° م ، يبدأ اختزال أكاسيد الحديد بغاز أول أكسيد الكربون ، وينتج تبعا لذلك الحديد النقى ، فى صورة إسفنجية مختلطا بشوائب الخام .

فى درجة حرارة ٦٠٠° م يبدأ خروج المواد المتطايرة الموجودة بالكوك تدريجاً فى صورة غازية ، ويتم التخلص منها نهائيا عند درجة حرارة ٨٠٠° م ويلاحظ ، نتيجة لذلك ، أنه فى خلال هبوط الكوك والمشحونات داخل الفرن ، تكون درجة حرارة سطح الكوك دائما أقل من درجة حرارة أسطح الخامات المجاورة ، ذلك أن الكوك يتعرض لتفاعلات ماصة للحرارة بينما تتعرض الخامات لتفاعلات طاردة نسبيا للحرارة .

وعند درجة حرارة ٤٥٠° م يبدأ تحلل كربونات الحديد والمنجنيز ، ويعقبها عند درجة ٦٠٠ إلى ٧٠٠° م بدء تحلل الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم كا ك أ٣) ، والدولوميت (كا ا . مغ ا . (ك ا٢)٢) ،

حسب الآتى :ـ

وحسب حجم قطع الخام أو الدولوميت أو الحجر الجيرى المستخدم ، يستمر هذا التحلل ، وينتهى عند درجة حرارة ١٠٠٠° م نهائيا .

وخلال التدرج الحرارى الكبير من ٤٥٠° إلى ١٠٠٠° م فى هذه المنطقة ، تتزايد نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، ويتحلل غاز ثانى أكسيد الكربون حسب قانون بودوارد ، وبالتالى تتناقص نسبته فى الغاز المحيط بمعنى زيادة القدرة الاختزالية للغازات . وبالتلاحم بين غاز أول أكسيد الكربون وخام الحديد ، وبالتالى أكاسيد الحديد ، يبدأ اختزالها اختزالاً غير مباشر ، من أكسيد حديديك ، إلى أكسيد الحديد المغناطيسى ، ثم إلى أكسيد الحديدوز ، و نسبياً إلى حديد حيث ينساب الجزء الباقى من أكسيد الحديدوز دون اختزال ، إلى مناطق

الفرن السفلي والأعلى حرارة ، وتتم هذه السلسلة من التفاعلات حسب المعادلات الاتية :

٣ ح٢ ا٣ + ك ا ——— ٢ ح٣ ا٤ + ك ا٢ . . . . . طـارد للحـرارة + (١٥٠٥٠ كالورى)

ح٣ ا٤ + ك ا ———٣ ح ا + ك ا٢ . . . . . . ماص للحـرارة - (١٥٠٥٠ كالورى)

ح٣ ا٤ + ك ا ——— ٣ ح ا + ك ا٢ . . . . . . ماص للحـرارة - (١٥٠٥٠ كالورى)

ح ا + ك ا ——— ٣ ح + ك ا٢ . . . . . طارد للحرارة + (٣١٥٠ كالورى)

(إجمالى = + ٦٢ كيلو كالورى / كجم حديد)

ومنه يتضح أن اختزال أكسيد الحديدوز اختزالا غير مباشر ، يضيف حرارة إلى الفرن ، بمعنى تخفيض استهلاك الكوك الأمر الذى يعد فى غاية الأهمية لاقتصاديات تشغيل الأفران العالية . وعليه أصبح من واجبات العاملين بالأفران العالية ، زيادة كمية أكسيد الحديدوز التى تختزل اختزالا غير مباشر ، رغم مايقابل ذلك من انخفاض القيمة الحرارية لغاز الأفران العالية المنتج .

وتتراوح نسبة الاختزال غير المباشر ـ لأكاسيد المعدن بالخام ـ بالأفران العالية مابين ٤٠ و ٧٠٪ ، وتتوقف إلى حد بعيد على خواص الخام المستخدم ومدى اختزاليته ، وكذا على ظروف تشغيل الفرن .

وابتداء من درجة حرارة ٥٠٠° م يشارك الهيدروجين الموجود فى الغازات ، فى اختزال أكاسيد الحديد ، بنفس الترتيب السابق .

ويكون الحديد الذى تم اختزاله فى بدء المرحلة ، فى حالته الصلبة نقيا من الشوائب ، ومع استمرار هبوطه بالفرن ، يصل إلى درجة حرارة أعلى ، حيث ينصهر .

هذا فيما يختص بأكاسيد الحديد المشحونة . أما الأكاسيد الأخرى كأكسيد الكالسيوم ، وأكسيد المغنيسيوم ، وأكسيد السيليكون ، وأكسيد الألومنيوم ، وأكاسيد المنجنيز ، والكبريت ومركباته ، فخلال هبوطها بالفرن ، ترتفع درجة حرارتها ، وتتميع ثم تنصهر ، وتتجمع فى الأسطوانة إذ أن اختزالها يحتاج إلى حرارة كبيرة غير متوافرة فى المناطق العليا من الفرن ، بالإضافة إلى أن ضغوط تحللها صغيرة ، وبالتالى فنسب غاز أول أكسيد الكربون المطلوبة لإتمام الاختزال ، أكبر بكثير من النسبة الموجودة بهذه المنطقة من الفرن .

غير أنه يمكن اختزال الأكاسيد العالية ، فمثلا يمكن اختزال أكاسيد المنجنيز العالية حسب التفاعل الآتى :

م ٣ أ٤ ——— ك ا ——— ٣ م ا + ك ا ٢

ولكن لايمكن اختزال (م ا) ، الذى يختزل بعدئذ فى المناطق التالية الأكثر حرارة ، وبالحديد الذى تم اختزاله ، أو بالكربون ، كالآتى :

أكسيد المنجنيز + حديد (نشط) ——— أكسيد حديدوز + منجنيز

م ا + ح ——— ح ا + م

أكسيد منجنيز + كربون ——— منجنيز + أول أكسيد الكربون

م ا + ك ——— م + ك ا

أما خامس أكسيد الفوسفور الموجود فى فوسفات الكالسيوم [(كا ا)٣ فو٢ ا ٥] ، أو ، (كا ا)٤ فو٢ ا٥] ، فيتم اختزاله بغاز أول أكسيد الكربون بعد اتحاد جير الفوسفات بسيليكا الخامات ، وتحرر خامس كأكسيد الفوسفور (فو٢ ا٥) وذلك على النحو التالى :

فوسفات الكالسيوم + ٣ سيليكا ——— ٣ سيليكات كالسيوم + خامس أكسيد الفوسفور

(كا ا)٣ . فو٢ ا٥ + ٣ س ا٢ ——— ٣ (كا ا . س ا٢) + فو٢ ا٥

خامس أكسيد الفوسفور + ٥ أول أكسيد الكربون ——— ٢ فوسفور + ٥ ثانى أكسيد الكربون

فو٢ ا٥ + ٥ ك ا٢ ——— ٢ فو + ٥ ك ا٢

وحيث أن ثانى أكسيد الكربون غير ثابت فى مثل درجة الحرارة هذه الدرجة ، وفى وجود الكوك المتوهج ، فإنه يتحول إلى أول أكسيد الكربون ، ليزيد من القوة الاختزالية للغازات .

ثانى أكسيد الكربون + كربون ——— ٢ أول أكسيد الكربون

كا ا ٣ + ك ——— ٢ ك ا

ونظراً لانخفاض قاعدية خبث الافران العالية نسبياً ، والجو المختزل بالمنطقة ، فإن الفوسفور الناتج كله ، يتحد بالمعدن ، ولايحوى الخبث شيئاً منه مطلقاً .

(ج) التفاعلات فى منطقة المخروط السفلى :

فى هذه المنطقة من الفرن ، والمرتفعة الحرارة ، ونظرا للتغيير الذى تم فى خواص الشحنة الفيزيقية والكيميائية ، فإن الحديد النق السابق تكوينه بالمناطق العليا بالفرن ، بامتصاصه

للقليل من الكربون تنخفض درجة انصهاره نتيجة انخفاض درجة نقائه ، ويبدأ فى السيولة . وكذا غالبية المشحونات الأخرى (خلافاً للكوك والجير) ، وعليه يتهيأ المحيط بالمنطقة لتفاعلات من نوع آخر بين مواد صلبة وأخرى سائلة ، بمعنى أن عمل الغازات ، لم يعد المؤثر الفعال المسيطر ، ومن ثم تختزل السيليكا بأكاسيد الحديد والمنجنيز حسب المعادلات :

سيليكا + حديد نشط ——— سيبيكون + أكسيد حديدوز

س ا٢ + ح ——— س + ح ا

سيليكا + منجنيز ——— سيبيكون + أكسيد منجنيز

س ا٢ + م ——— س + م ا

وثابت الاتزان للتفاعل الأول ، أقل بكثير من ثابت اتزان التفاعل الثانى ، ولذا كان المنجنيز مختزلا أقوى للسيليكا من الحديد . وهذا التفاعل ماص للحرارة ، ولذا فلإنتاج سبائك الفيرو سيليكون ، تزداد نسبة المنجنيز فى شحنة الأفران الأصلية مع زيادة درجة الحرارة بودقة الصهر بالفرن . كما يتضح مما تقدم ، أنه كلما زادت نسبة السيليكون فى الحديد الزهر كلما انخفضت نسبة المنجنيز فيه .

ووجود الفحم فى هذه المنطقة متوهجا ، وبتلامسه مع الشحنة المنصهرة نسبيا والهابطة من الاسطوانة ، يبدأ فى اختزال ما تحويه هذه من أكسيد الحديدوز الذى لم يتم اختزاله من قبل ، وكذا فى اختزال بعض الأكاسيد المرافقة والصعبة الاختزال ومع زيادة درجة الحرارة ، يزداد هذا النوع من الاختزال والذى يسمى اختزالا مباشرا . ذلك لأن التفاعلات للاختزال المباشر ، تفاعلات ماصة للحرارة ، بمعنى زيادة شدتها وسرعتها مع ارتفاع درجة الحرارة . وتتم هذه التفاعلات جميعها فى درجات الحرارة ما بين ١٠٠٠ إلى ١٧٠٠ م° وأهم هذه التفاعلات هى :

ح ا + ك ——— ح + ك ا

م ا + ك ——— م + ك ا

فو٢ فو٥ + ٥ ك ——— ٢ فو + ٥ ك ا

ومن أهم هذه التفاعلات التى تتم عامة بالفرن العالى ، تفاعل كرينة المعدن والذى يتم بهذه المنطقة من الفرن ، حيث يتفاعل الحديد النقى تقريبا الذى تم اختزاله فى طبقات الفرن التى تعلو هذه المنطقة ، مع غاز أول أكسيد الكربون ، ومع كربون الكوك المتوهج ، ليذيب ٣ كب) حسب التفاعل :

٣ حديد نق + اول اكسيد الكربون ——— كربيد حديد + ثانى أكسيد الكربون

٣ ح + ٢ ك ا ——— ح٣ك + ك ا٢

٣ حديد نق + كربون ——— كربيد حديد

٣ ح + ك ——— ح٣ك

وبهذا تنخفض درجة الحرارة التي يبدأ عندها انصهار الحديد من ١٥٢٨° م، وهو نق حتى ١٢٠٠° إلى ١٣٠٠° م.

وفى خلال نزول قطرات الكربيد، فإنها تذيب السيليكون، والمنجنيز، والفوسفور، والكبريت التي تم الحصول عليها من الاختزال المباشر لأكاسيدها - كما ذكر من قبل - فيتحول الحديد الكربونى إلى حديد زهر، له درجة انصهار أقل، وبالتالى تنساب قطرات الحديد الزهر السائل، من أعلى مستوى فتحات نفخ الهواء إلى بودقة الصهر.

ومما ذكر آنفا، يتضح أن كربون الكوك المضاف بالشحنة، يؤدى بالفرن العالى لثلاث وظائف رئيسية:

١ - توليد الطاقة الحرارية اللازمة للتفاعلات عن طريق احتراقه بأكسيجين الهواء اللافح.

٢ - كربنة الحديد النق، وبالتالى خفض درجة حرارة انصهاره، وإتاحة الفرصة لإسالته.

٣ - اختزال الأكاسيد مباشراً، وتوليد أول أكسيد الكربون اللازم للاختزال غير المباشر.

تكون الخبث فى الأفران العالية:

تنساب باقى مكونات شوائب الخامات المشحونة، التي تتكون فى العادة من أكاسيد هذه الشوائب، والتي تتمتع بشراهة كبيرة للارتباط بالأوكسيجين، بحيث تحتاج إلى طاقة حرارية عالية لاختزالها، (يحتاج الحصول على ١ كجم من السيليكون باختزال السيليكا إلى ٧٤٣٢ كيلو كالورى)، لاتتوفر تحت ظروف تشغيل الأفران العالية. ولكن ولحسن الحظ، تتفاعل هذه الشوائب مع بعضها بعضاً فى حالة الصلابة أو اللزوجة، مكونة مركبات كيميائية جديدة، لها درجة انصهار أقل بكثير من درجة انصهار مكوناتها الأصلية.
ويبدأ هذا التفاعل فى درجة حرارة ١٢٠٠° م تقريباً، أى بمنطقة المخروط السفلى، ومع تعرض الناتج لدرجات الحرارة الأعلى، ينصهر ويولد مايسمى بالخبث. وهذه الأكاسيد

توجد فى المشحونات كما يلى :ـ

فى الخام : السيليكا ، والألومينا ، والماغنيسيا ، والجير ، وأكسيد التيتانيوم ، وكبريتيد وأكاسيد المنجنيز ، وأكسيد الزنك وأكسيد الرصاص .

وفى الإضافات :أكسيد الكالسيوم ، وأكسيد المغنيسيوم ، وخامس أكسيد الفوسفور ، والسيليكا .

ومن الكوك : رماد الكوك (الذى يحوى ٤٠٪ منه على هيئة سيليكا) ، والكبريت .

وأهم المركبات الكيميائية التى تتكون من ارتباط هذه الأكاسيد هى :

١ ـ **السيليكات** : التى تتكون من ارتباط السيليكا بالأكاسيد الأخرى مثل :

سيليكات الجير (كا ا س ا$_{٢}$)   (كا ا س ا$_{٢}$) ، وسليكات الحديد (ح ا . س ا$_{٢}$) ، وسيليكات الألمنيوم (لو$_{٢}$ ا$_{٣}$. س ا$_{٢}$)

٢ ـ **الألومنيات** : وهى عبارة عن ارتباط الألومينا بغيرها من الأكاسيد مثل :

ألومنيات الكالسيوم (كا ا . مغ ا) أو الومنيات الماغنيسيوم (مغ ا . نق $_{٢}$ ا$_{٢}$)

٣ ـ **مجموعات الفيرت** :

تتكون من ارتباط أكاسيد الحديد بأكاسيد قاعدية ، مثل فيريت الكالسيوم ، (ح $_{٢}$ ا$_{٣}$. كا$_{٢}$ ا) أو من أكسيد الحديدوز مع أكسيد السيليكون كالفياليت (ح ا . س ا$_{٢}$)

ويلاحظ أن درجات حرارة انصهار الأكاسيد التى تم ذكرها من قبل عالية جداً ، كما يظهر ذلك فيما يلى :

الأكسيد	درجة انصهارة
سيليكا(س ا$_{٢}$)	١٧١٠م°
الجير (كا ا)	٢٦٧٠م°
الألومينا (لو$_{٢}$ ا$_{٣}$)	٢٠٥٠م°
ماغنيسيا (مغ ا)	٢٨٠٠م°

ولكنها فى حالة ارتباطها نتيجة تفاعلها تفاعلاً كيميائياً وتحويلها إلى سيليكات أو ألومنيات ، تكون درجة انصهار هذه الفتحات منخفضة جداً عن تلك التى للأكاسيد الأصلية ، وتتراوح درجات انصهارها عادة مابين ١٢٠٠° و ١٤٠٠° م . وعليه تحسب مكونات الخبث الأساسية فى شحنة الفرن الأصلية ، بحيث يكفى الجير والسيليكا لتكون

خبث محدد التركيب ، يمكن الحصول عليه سائلا تحت ظروف تشغيل الأفران العالية ودرجات الحرارة التى يمكن الوصول إليها . مع زيادة طفيفة فى الشق القاعدى ، للتخلص من قدر من الكبريت .

و نورد فيا يلى بعض هذه المركبات الكيميائية ودرجة انصهارها :

(ا) مجموعة السيليكا ـ الجير :

	نسبة السيليكا فى المركب
أقل درجة انصهار لمركباتها ١٤٣٦°م	٦٥٪
أعلى درجة انصهار لمركباتها ١٥٤٤°م	٤٠٪

(ب) السيليكا ـ أكسيد الحديدوز :

أقل درجة انصهار لمركباتها ١١٧٠°م	٤٠٪
أعلى درجة انصهار لمركباتها ١٢٠٥°م	٢٠٪

(ج) السيليكا ـ الألومنيا :

	نسبة الألومنيا فى المركب
أقل درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٥٤٠°م	٨٧٪

(د) الألومنيا ـ الجير :

	نسبة الألومينا
أقل درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٣٩٥°م	٥٥٪
أعلى درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٤٥٨°م	٤٥٪

وفى العادة ، ينضم إلى هذه المجموعات الثنائية أكسيد آخر ، فتنتج مجموعة ثلاثية التكوين ، ويسبب ذلك انخفاضا آخر لدرجة حرارة الانصهار ، بمقدار يتروواح مابين ٢٣٠° م و ٣٠٠° م .

وخبث الأفران العالية عادة من المجموعة الثلاثية ، فمثلا نجد سيليكات الكالسيوم والألومنيوم ، والتى تنخفض درجة حرارة انصهارها بمقدار ماتحتويه من شوائب أخرى .

[كا ا . لو٢ ا٣ . (٢ س ا٢)]   [٢ (كا ا) . (لو٢ ا٣ . (س ا٢)] . . . وهكذا والتى تنخفض درجة حرارة انصهارها بمقدار ما تحتوبة من شوائب أخرى كأكسيد الماغنيسيوم ،

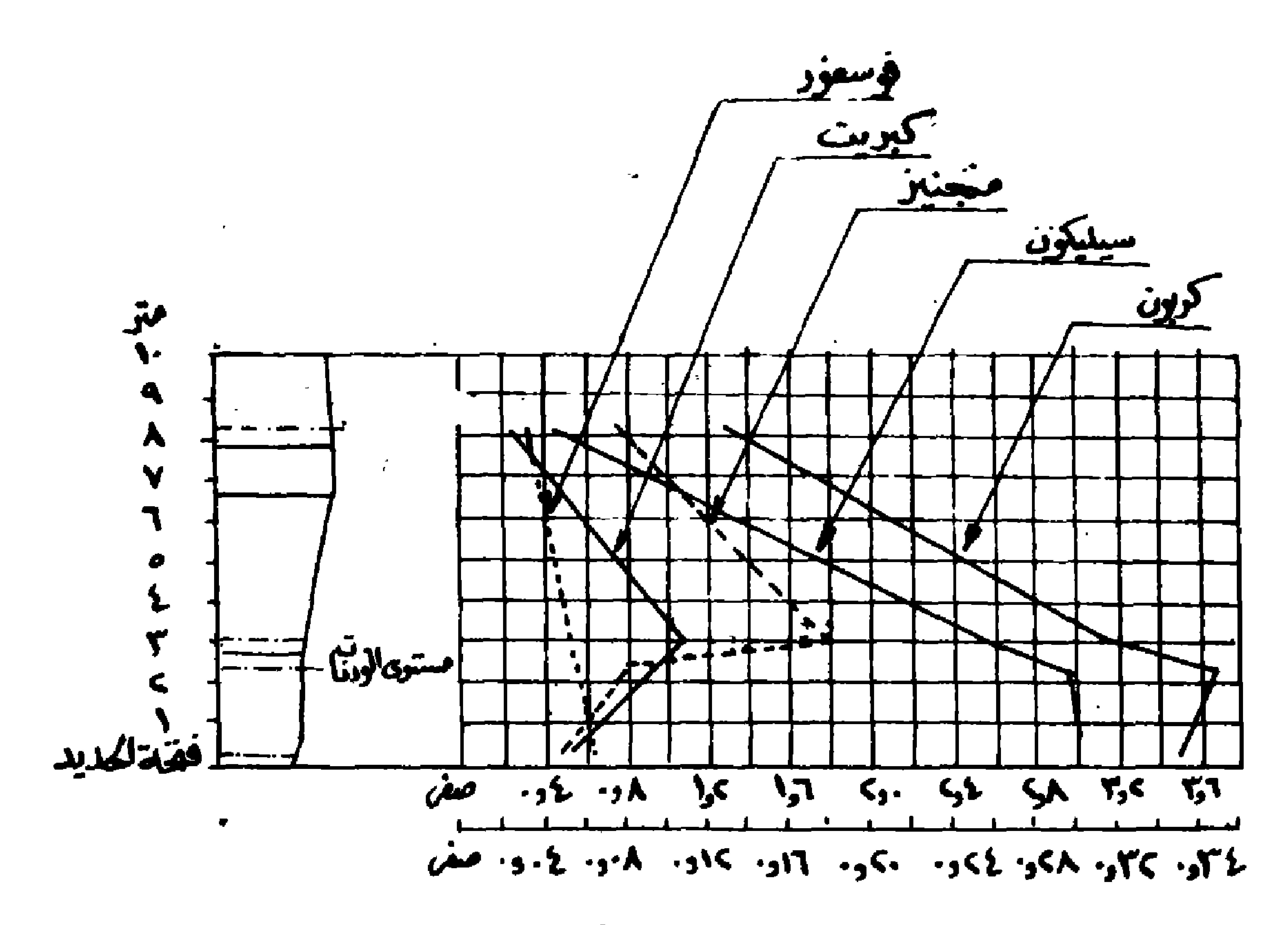
أو أكسيد الحديدوز أو أكاسيد المعادن الأخرى التى لم تختزل ، وقد تصل إلى ١١٦٥° م .

والخبث الذى تم تكوينه فى الأسطوانة ثم المخروط ، يسمى «الخبث المبدئى أو الأدنى» ، ويحوى نسباً كبيرة من أكسيد الحديدوز ، وأكسيد المنجنيز ، حيث أن اختزال الأول لم يكن قد انتهى بعد ، وأن اختزال الثانى إنما يتم فى بودقة الصهر . وقد يكونان على هيئة سيليكات أو أحراراً دون ارتباط .

وباستمرار هبوط هذا الخبث المبدئى فى مستوى تحت مستوى فتحات ، نفخ الهواء ، يضم اليه رماد الكوك . ويجمع كذلك الكبريت وباقى الجير من الشحنة ويفقد قليلا من أكاسيد الحديد والمنجنيز ، ليعطى « الخبث النهائى » . وهو الخبث الذى نحصل عليه مع فتح فتحة الخبث أو مع صبات الحديد . وتكون السيليكا والجير والماغنيسيوم والألومينا حوالى ٩٤٪ من إجمالى وزنه ، بينما الباقى يمثل نسبيا من أكسيد الحديدوز ، وكبريتيد الكالسيوم والماغنيسيوم وأكسيد المنجنيز وآثاراً لخامس أكسيد الفوسفور . وحسب مايحويه هذا الخبث من مكونات قاعدية ومكونات حامضية ، يكتسب خاصية تسميته « بالخبث القاعدى أو الحامضى » . ويمتاز الجلخ الحامضى بمدى حرارى واسع ، يكون فيه الخبث سائلا ، بينما يضيق هذا المدى الحراري بالنسبة للخبث القاعدى ، الذى يحتاج إلى درجة حرارة أعلى للاحتفاظ به سائلاً .

(د) التفاعلات فى بودقة الصهر :

تبلغ درجة الحرارة فى المنطقة أمام فتحات نفخ الهواء أعلى درجة حرارة بالفرن العالى (١٨٠٠° إلى ٢٠٠٠° م) ، ويتساقط الحديد والخبث السائلان فى المنطقة ، واللذان ترتفع درجة حرارتها ليتجمعا فى بودقة الصهر ، حيث يعلو الخبث الحديد ، نظراً لانخفاض وزنة النوعى وتتأكسد بعض المعدن أمام الودنات من أوكسيچين الهواء اللافح ، ولكنه يختزل بعد ذلك بكربون المعدن عن طريق الانتشار . ويلاحظ أن نسب المنجنيز والكبريت فى المعدن ، تزداد خلال هبوطه من الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، وحتى مستوى فتحات نفح الهواء ، **حيث تبدأ بعد ذلك فى الانخفاض ، الشكل (٣٦) ، أما السيليكون فتتوقف نسبته فى** المعدن عند حد نسبته فيه عند مستوى الودنات ، أما الفوسفور فيستمر فى الزيادة ، بينما أن الكربون ترتفع نسبته بالتدرج ، مع الهبوط من الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، ثم ارتفاعاً مباشراً أمام الودنات ليعود فينخفض نسبياً . وعليه يوجد الحديد حاوياً شوائب من السيليكون والكبريت والفوسفور والمنجنيز والكربون ، ذائبة أو مختلطة به ، مكونا الحديد



شكل رقم ٣٦ يحدد تحليل الحديد الزهر عند المستويات المختلفة
أسفل الأسطوانة وحتى فتحة الحديد

الزهر، بينما يحوى الخبث كل الباقى الصلب من الشحنة الأصلية.

عائد الحديد الزهر وعائد الخبث :

والمقصود بعائد الحديد الزهر إجمالى كميات الحديد والمنجنيز والسيليكون والكربون والفوسفور والكبريت والزنك والقصدير، الخ . الموجودة بالمعدن الناتج بالنسبة إلى مجموعها فى الخامات المشحونة .

أما عائد الخبث، فيمثل الفرق بين المشحونات الداخلة للفرن عامة، وتلك المواد الداخلة فى تركيب الحديد الزهر وغاز الأفران العالية المنتجة .

ونستعرض فيما يلى عائد كل عنصر، وهو يمثل مقدار مايحويه المعدن المنتج بالأفران العالية، ومايحويه الخبث من هذا العنصر :

١ ـ الحديد : يبلغ عائد الحديد تقريباً من ٩٥ إلى ١٠٠٪ ويرجع ذلك الى الجو المختزل الذى تتم فيه عمليات الأفران .

٢ ـ المنجنيز : يتراوح عائده بين ٥٠٪ إلى ٧٠٪ بالحديد الزهر، والباقى يخرج مع الخبث على هيئة أكسيد المنجنيز أو مركبات المنجنيز والكبريت . ويتوقف هذا القدر على قاعدية الخبث ودرجة الحرارة فيزداد كلما انخفضت درجة الحرارة وانخفضت القاعدية .

٣ ـ الفوسفور : يحوى المعدن تقريباً ٩٥٪ من كمية الفوسفور المشحون بالفرن، ويخرج الباقى على هيئة مركبات كيميائية مع الكالسيوم والسيليكا فى الخبث .

٤ ـ السيليكون : من ٢ إلى ٣٪ تتحد بالمعدن، بينما يخرج الباقى مع الخبث . وتعتمد الكمية الداخلة فى المعدن على كمية السيليكا فى الشحنة الأصلية وقاعدية الخبث، ودرجة حرارة بودقة الصهر، حيث تزيد مع انخفاض قاعدية الخبث، وارتفاع درجة حرارة البودقة .

٥ ـ الكبريت : يوجد جزء منه بالمعدن، والجزء الآخر بالخبث، ويتطاير جزء منه مع غازات الأفران العالية . ويتوقف الجزء الذى يوجد بالمعدن على قاعدية الخبث، ودرجة حرارة بودقة الصهر ونسبة الماغنيسيا فى الخبث . فيقل كلما زادت مقادير هذه الدلالات . ويمكن الحصول على معدن يحوى أقل من ١٠٪ من كمية الكبريت الداخل مع المشحونات .

٦ ـ النحاس والنيكل والزنك : تذوب بأكملها فى المعدن .

٧ ـ الرصاص : يدخل المعدن ، غير أنه لايذوب فيه ، ويتجمع فى أسفله لثقله . ويسبب أضراراً كبيرة للطوب الحرارى ويمكن جمعه خلال ثقوب فى الطوب (تم ذلك فى بلدان أوروپا) وقد يتأكسد جزء بسيط منه إلى (ر ١ ٢) ويخرج مع أتربة الغازات .

٨ ـ الڤاناديوم : من ٧٠ إلى ٨٥٪ يدخل المعدن ، والباقى يخرج مع الخبث .

٩ ـ الكروم : ١٠٠٪ يدخل المعدن على هيئة كربيد الكروم .

١٠ ـ تيتانيوم : من صفر إلى ١٠٪ بالمعدن ، وأثر وجوده بالخبث سىء .

١١ ـ الخارصين : من ٧٠ إلى ٩٥٪ بالمعدن .

١٢ ـ الكربون : يذوب الكربون فى معدن الحديد ، وحتى نسبة ٧٪ بالوزن ، وتساعد بعض الشوائب الموجودة مع المعدن كالمنجنيز والكروم ، على إذابة كربون الكوك ، بينما تقف بعض العناصر الأخرى ضد ذلك مثل الفوسفور والسيليكون . ويوجد الكربون بالمعدن على هيئة كربيد الحديد ، وأحيانا بنسب أقل على هيئة جرافيت دقيق .

وتتأثر خواص الحديد المنتج عامة ، ودرجة حرارة انصهاره خاصة تبعاً لنوعية الشوائب الموجودة معه ، ونسبتها فمثلا :

كل ١٪ كربون ذائب فى المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٧٠° م
كل ١٪ فوسفور ذائب فى المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٣٠° م
كل ١٪ كبريت ذائب فى المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٢٥° م
كل ١٪ سيليكون ذائب فى المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . .	٨° م
كل ١٪ منجنيز ذائب فى المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٥° م

٢ ـ التفاعلات والتغييرات التى تلازم عامود الغازات الصاعدة :

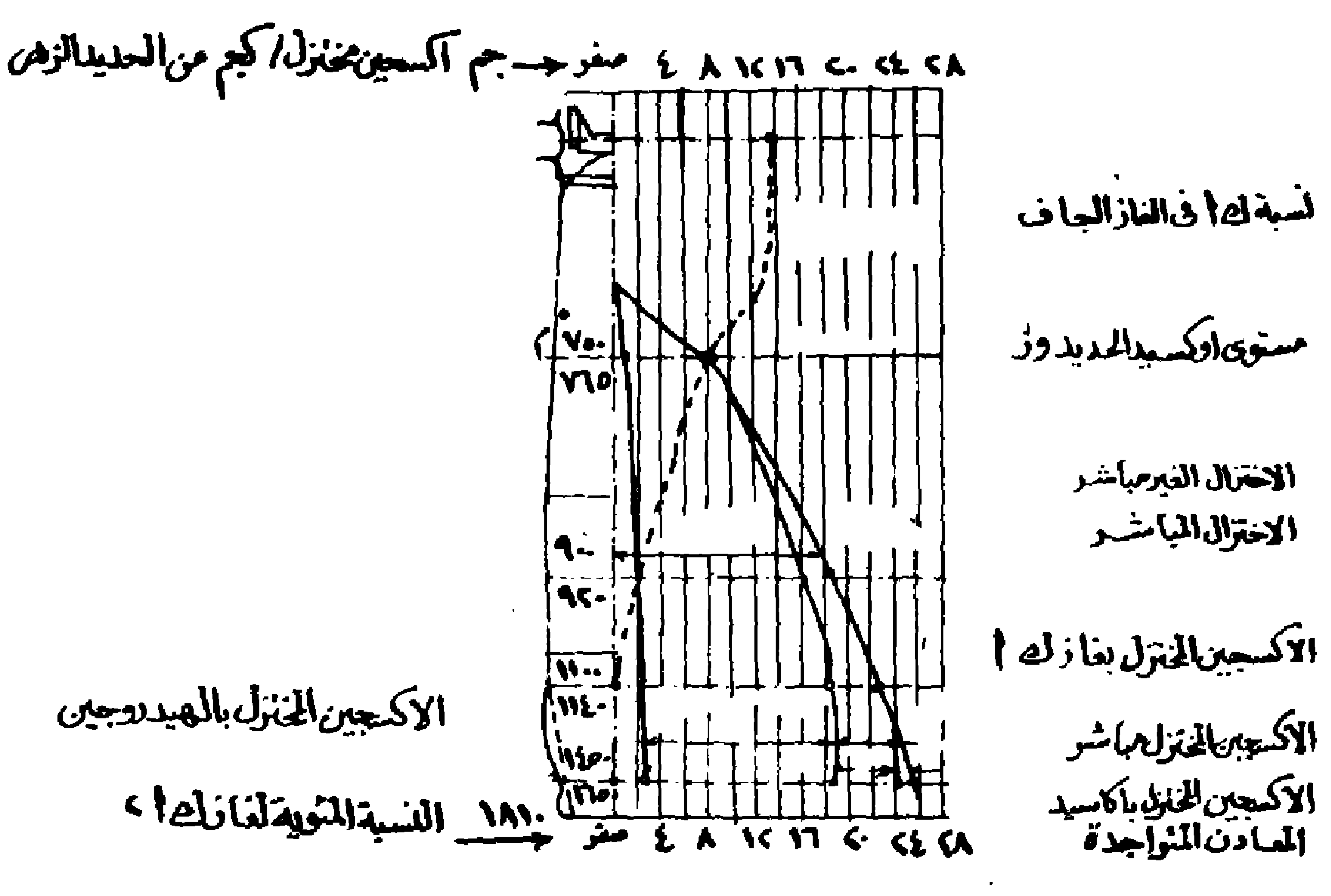
يدخل الهواء اللافح ، (٢١٪ أوكسجين ، ٧٩٪ نتروچين) ، الفرن خلال فتحات الهواء (الودنات) فى درجة حرارة تتراوح مابين ٧٠٠° إلى ٩٠٠° م ، (حالياً وصلت حتى ١٢٠٠° م فى اليابان والاتحاد السوڤيتى) ، ليجد أمامه فى المنطقة العليا لبودقة الصهر كوكا متوهجاً . فيحترق كربون الكوك مباشرة بأوكسيچين هذا الهواء اللافح .وحيث أن الأوكسيچين يوجد عند المدخل بكميات كبيرة ، فيتم احتراق الكربون احتراقاً كاملاً حسب المعادلة :

كربون + أوكسيجين ——— غاز ثانى أكسيد الكربون

ك + أ٢ ——— ك أ٢

مولداً لطاقة حرارية كبيرة ، ترفع درجة حرارة المنطقة حتى ١٧٠٠° م إلى ٢٠٠٠° م ، وتسمى المنطقة أمام فتحات الهواء والتى يحدث فيها ذلك « منطقة الاحتراق » ، وتأخذ شكل مجسم القطاع الناقص ، وتمتد حتى مسافة كبيرة إلى داخل الفرن ، تتوقف على قطر ودنات نفخ الهواء(الشكل ٣٧) ، وضغط هواء النفخ ، ودرجة حرارته ، وعوامل أخرى نذكرها فيما بعد .

وحيث أن ثانى أكسيد الكربون - حسب قانون بودوارد ، غير ثابت فى درجات الحرارة العالية وفى وجود الكربون المتوهج ، فإن الغاز الناتج يتفاعل مع كربون الكوك ، مولدا حجمين من غاز أول أكسيد الكربون ، مقابل كل حجم من غاز ثانى أكسيد الكربون ، حسب العلاقة التالية :



شكل رقم ٣٧ - يحدد بعض العلاقات الخاصة بعملية الاختزال
« عن فيبرج »

حجم من غاز ثانى أكسيد الكربون + كربون ——— حجمين من أول أكسيد الكربون

ك ا٢ + ك ——— ٢ ك ا . . . . (ماص للحرارة)

ويتم التفاعلان السابقان سريعا ، وفى حدود جزء من الثانية .

كما يتم فى نفس الوقت تحلل بخار الماء الداخل مع الهواء اللافح بملامسته للكربون المتوهج حسب مايلى :

بخار الماء + الكربون ——— غاز هيدروچين + غاز أول أكسيد الكربون

ن٢ ا + ——— ن٢ + ك ا (ماص للحرارة)

ويساعد ارتفاع درجة حرارة المنطقة فى توفير الطاقة الحرارية اللازمة لهذا التفاعل عليه يتولد أمام الودنات خليط من غازات مختلفة يسمى « غاز الودنات » ـ تحليله كالآتى :

(معتمداً على نسبة بخار الماء الموجود بالهواء اللافح) .

أول أكسيد الكربون	**٣٥ إلى ٤٠٪**
هيدروچين	**٢ ٪**
نتروچين	**٥٨ إلى ٦٣٪**

ويتصاعد هذا الغاز داخل الفرن ، ليقابل فى درجات الحرارة العالية عامود الشحنات الهابط ، وليحيط بقطع الخام ، ويعطيها جزءاً من الحرارة الكامنة به ، ويتخلل مسامها ليتحد أول أكسيد الكربون والهيدروچين بأوكسيچين أكاسيد المعدن التى لم يتم اختزالها بعد ، نتيجة المعدن ، ويحوله إلى غاز ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، حسب مايلى :

أكسيد الحديدوز + أول أكسيد الكربون ——— الحديد + غاز ثانى أكسيد الكربون

ح ا + ك ا ——— ح + ك ا٢

أكسيد الحديدوز + غاز الهيدروچين ——— الحديد + بخار الماء

ح ا + ن٢ ——— ح + ن٢ ا

وفى هذا المستوى الحرارى داخل الفرن ، يمكن لغاز أول أكسيد الكربون والهيدروچين اختزال بعض الأكاسيد صعبة الاختزال المرافقة ، ولكن بنسب محدودة وقليلة .

وهذه التفاعلات ، تسبب الارتفاع فى نسبة غاز أول أكسيد الكربون فى الغاز الصاعد ، الذى يتفاعل مباشرة مع كربون الكوك المتوهج متحولا إلى غاز أول أكسيد الكربون مرة أخرى ، وبالتالى تزداد القدرة الاختزالية للغاز ويتم اختزال المزيد من الأكاسيد .

وباستمرار صعود الغازات وملامستها للشحنات الهابطة ، وفقدها للحرارة ، تنخفض

درجة حرارتها ، وتقل نسبة ثانى أكسيد الكربون التى تتحول الى أول أكسيد الكربون ، وكذلك ينشط التفاعل :

حجمان من غاز أول أكسيد الكربون ——— حجم غاز ثانى أكسيد الكربون + كربون

٢ ك ا ——— ك ا$_{٢}$ + ك

منتجاً لغاز ثانى أكسيد الكربون . كما تتحلل الكربونات مولدة كميات إضافية من هذا الغاز ، فترتفع نسبته الإجمالية فى الغازات تبعا لذلك ، وبالتالى تنخفض قدرة الغاز الاختزالية

ولهذا ، وبالاضافة إلى عدم توافر الجو الحرارى اللازم ، يتوقف اختزال الخام تقريباً نهائياً عند درجة حرارة ٤٠٠°م . ويتصاعد الغاز ليعطى جزءاً مما تبق به من حرارة للخامات ليساعد فى تجهيزها . ويغادر الغاز الفرن فى درجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠ و ٢٥٠°م ، بتكوينه المعروف كالآتى :

أول أكسيد الكربون به	٢٨ إلى ٣٠٪
ثانى أكسيد الكربون به	١٠ إلى ١٢٪
هيدروجين	٥ر١إلى ٢ ٪
نتروجين = الباق	٥٦ إلى ٦٠٪

محملاً بالأتربة الناعمة من المشحونات إلى وحدات تنقية الغاز ، ثم إلى أماكن الاستهلاك .

ويلاحظ فيا سبق ذكره أن غاز النتروجين الداخل مع الهواء اللافح ، لايشارك فى التفاعلات بقدر ملحوظ ، غير أنه يلعب دوراً هاماً فى تجهيز الشحنة الهابطة ، وذلك بالتخلى عن الحرارة الكامنة به ، وهو دور فى الواقع له أهميته فى الاتزان الحرارى للفرن . غير أن جزءاً صغيراً من الغاز ، يتحد مع كربون الكوك مكوناً غاز السيانوجين حسب الآتى :

كربون + غاز نتروجين ——— غاز السيانوجين

٢ ك + ن$_{٢}$ ——— ٢ ك ن

أو يتفاعل مع الهيدروجين مكونا غاز النوشادر (الأمونيا) حسب التالى :

غاز نتروجين + هيدروجين ——— غاز النوشادر

ن$_{٢}$ + هـ$_{٢}$ ——— ٢ ن ن$_{٢}$

الباب السابع

« تشغيل الفرن العالى »

فى هذا الباب ، نتعرض للعمليات التى تجرى بالأفران العالية ، والتى تعتبر أساس تكنولوچيا التشغيل ، فى محاولة لتجميع أكبر قدر من خبرات العاملين بالأفران العالية ، ولنتائج تجاربهم فى بلدان العالم المختلفة ، التى تطورت بمرور الوقت ، وتقدم الصناعة ، والمنافسة البناءة فى هذا المجال .

ومهما اختلفت طرق التشغيل باختلاف الخبرات أو المكان ، إلا أنها جميعها تتفق فى الهدف ، وهو التشغيل بصورة مضمونة بعيدة عن الأخطار ، تكفل الرقابة التامة على التشغيل ، والضمان لتحقيق الإنتاج المنشود .

وسرد فيما يلى هذه العمليات ، منذ بدء تشغيل الفرن ، وخلال فترة عمله ، وحتى توقفه لإعادة تبطينه أو لإجراء ما يسمى « العمرة الشاملة » . وهذه الفترة الزمنية ، يطلق عليها « رحلة الفرن العالى » .

١ ـ إشعال الفرن :

بعد إتمام مراحل تشييد الفرن ، وتبطينه ، وتركيب الودنات ، وأجهزة السحن ، الخ وإجراء تجارب الاختبار للمعدات ، يصبح الفرن معداً للتشغيل ، وتتخذ خطوات الإعداد لإشعاله . وتعتبر عملية تجفيف مبانى الفرن من أهم مراحل الإعداد هذه .

ويتم تجفيف مبانى الفرن بطرق عديدة ، تختلف تبعا للخبرةالخاصة وللظروف المحلية . ومن هذه الطرق ، إستخدام الحرارة المتولدة من احتراق المازوت أو غاز الأفران العالية أو غاز الكوك ، باستخدام مواقد تركب بصفة مؤقتة بفتحات نفخ الهواء أو بفتحات الخبث والحديد . وحديثاً يتم تجفيف مبانى الفرن باستعمال الهواء اللافح بكمية محدودة ، عن طريق المسخنات ، يبدأ بها فى درجة حرارة منخفضة نسبياً « ٢٠٠ إلى ٣٠٠ درجة مئوية » ، تزداد تدريجاً وعلى فترات حتى تصل حتى ٨٠٠ إلى ٩٠٠°م . وتستمر هذه الفترة من يومين إلى ثلاثة أيام حسب حجم الفرن ، وحتى تصل درجةحرارة مبانى الفرن فى الطبقات العليا إلى درجة يضمن معها جفافها ، وتخضع لمراقبة دقيقة .

والتدرج في التسخين ضروري، حتى لا تتعرض المناطق لارتفاع مفاجيء في درجة حرارتها، مما يترتب عنه الإضرار بالمباني. وكذا لتحاشي خروج كميات كبيرة من البخار من الطبقات السفلى، وإضرارها بمباني أعلى الفرن، حيث درجة الحرارة لا تزال منخفضة. ولهذا اتبع في الماضي نظام تجفيف كل طبقة بعد الانتهاء من بنائها، وقبل البدء في بناء الطبقة التي بعدها. وطريقة التجفيف باستخدام الهواء اللافح تجتذب الاهتمام، حيث أنها تضمن تجفيف الطوب الحراري المبطن لمواسير الهواء من المسخنات وحتى الفرن. وهي الطريقة التي استخدمت في أفران مصانع الحديد والصلب بجمهورية مصر العربية.

عند الانتهاء من عملية التجفيف، يترك الفرن ليبرد مرة أخرى، ويجرى ذلك بخفض درجة حرارة الهواء المستخدم تدريجاً، ثم يستبدل به هواء في درجة الحرارة العادية عقب وصول درجة حرارة المباني لدرجة منخفضة نسبياً ٥٠ إلى ١٠٠°م.

وعند انخفاض درجة الحرارة داخل الفرن، إلى الدرجة التي يتمكن معها العاملون من الدخول من خلال فتحات الهواء، يبدأ في شحن الفرن بشحنة خاصة، الشكل (٣٨)، تسمى شحنة الاشعال، وتتم خطواتها كالآتي:

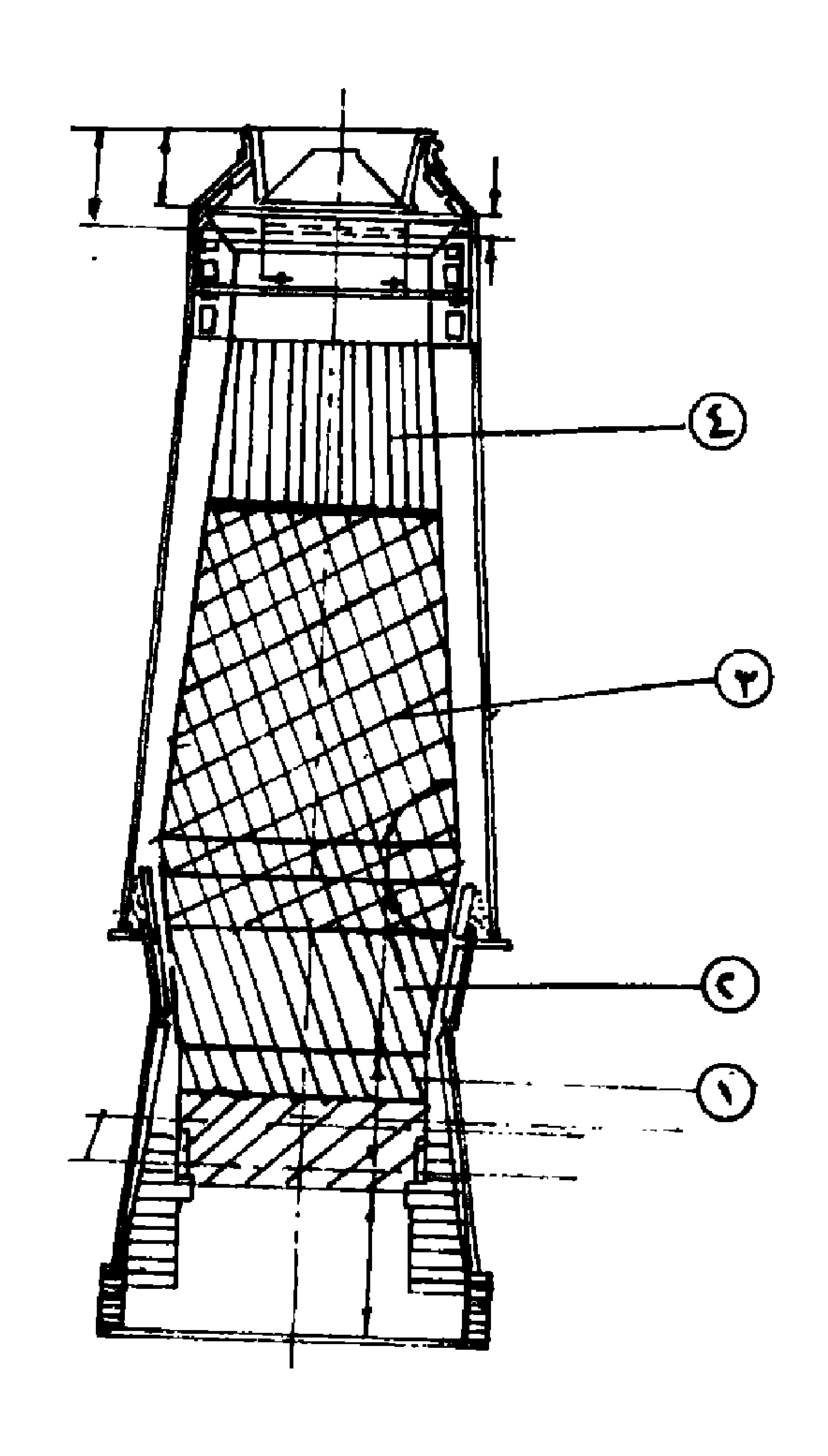
١ ـ تملأ بودقة الصهر بقطع من الخشب الصغير الجاف المتماسك، الذي تعلوه قطع أكبر مثل فلنكات السكك الحديدية. وتصنف هذه في طبقات متتالية متعامدة المحور، يعلو بعضها بعضاً، ويملأ الفراغ الموجود بينها بقطع صغيرة من خشب سهل الاشتعال، وخرق مبللة بالزيوت والشحوم، وأحياناً يرش الخشب بالمازوت أو الكيروسين للمساعدة في سرعة اشتعاله.

٢ ـ يتم تركيب جلب النفخ، ويتم توصيلها بمياه التبريد.

٣ ـ تشحن من أعلى الفرن ـ عن طريق دورة الشحن العادية ـ كمية من الكوك ذي الأحجام الكبيرة، ليتخلل جزء منه، فراغ الخشب الموجود في بودقة الصهر، ثم يعلوه إلى ارتفاع من ١,٥ إلى ٢,٥ متر تقريباً، تبعاً لحجم الفرن.

٤ ـ يبدأ بعد ذلك في شحن شحنات من الكوك فقط، تتبعها أخرى من الكوك مع إضافات من الحجر الجيري، معها ١٠٪ من جلخ الأفران العالية، حتى يصل مستوى المشحونات منتصف الفرن تقريباً.

٥ ـ يبدأ بعد ذلك في شحن الخام، بالإضافة إلى الكوك والحجر الجيري، وتحسب القاعدية بحيث لا تتعدى ٠,٧٪ عند البداية، وتأخذ في الارتفاع التدريجي، مع استمرار



الشكل ٣٨ ـ كروكى شحنة اشعال الفرن

١- منطقة الخشب

٢- منطقة الكوك

٣- منطقة الشحنة الخفيفة

٤- منطقة الشحنة بقاعدية منخفضة

الشحن لتصل إلى ١٠٠٠ عند نهاية شحن وملء بقية الحجم الفعال بالفرن وتسمى « شحنة الإشعال الخفيفة » .

٦ ـ تنخفض كمية الكوك الزائد عن احتياج الشحنة ، مع الاستمرار فى الشحن لتصل إلى الكمية الأصلية اللازمة قرب نهاية عملية الشحن .

٧ ـ يمنع نهائياً إضافة أى مشحونات من الزهر أو الخردة أو خلافه من المشحونات الحديدية .

٨ ـ يتم تشغيل دورة تبريد الفرن « للودنات ، وصناديق التبريد ، وأدشاش التبريد ، وللمجمعات . إلخ .

بالانتهاء من الخطوات السابقة يصبح الفرن معداً للاشتعال . وكثيراً ما يتم ذلك عن طريق فتحة الحديد ، حيث توضع خرق مبللة بالكيروسين أو البنزين مع قش الخشب ، لتكون السبيل إلى إشعال شحنة الخشب الموجودة ببودقة الصهر . ويجرى فى نفس اللحظة كذلك الإشعال عن طريق فتحات نفخ الهواء . وعند التأكد من بدء اشتعال الخشب ببودقة الصهر ، يبدأ فى نفخ كمية صغيرة من الهواء اللافح (حوالى ٢٠٪ من الكمية الأصلية) ، بحذر شديد واحتياط بالغ ، منعاً لحدوث أى انفجار بأعلى الفرن أو أمام الودنات . وقد يتم الاشعال بنفخ الهواء اللافح مباشرة خلال فتحات الهواء فقط ، فتشتعل المشحونات أمامها . وفى خلال ذلك ، تترك فتحة الحديد مفتوحة ليخرج منها اللهب ، وكذا الهواية أعلى الفرن . ويفصل الفرن ـ خلال عملية إشعاله ـ نهائياً عن شبكة الغازات بالمصنع . كما تراقب درجة الحرارة للغاز أعلى الفرن خلال هذه الفترة بمنتهى الدقة ، حتى لا يتسبب ارتفاعها فى اشتعال الغاز ، والإضرار بتجهيزات قة الفرن أو تجهيزات الشحن . ومع استمرار التشغيل ، تراقب حالة الفرن ، وتحاليل الغاز ، وحركة المحبسات ، الخ . من خلال قراءات أجهزة مراقبة الفرن .

ويستمر العمل تبعاً لهذا النظام ، حتى بدء ظهور أول دلائل تكون الخبث بالفرن ، ويعرف ذلك بملاحظة خروجه بكميات ضئيلة من فتحة الحديد ، وعندئذ تغلق هذه الفتحة بواسطة ماكينة غلق الفرن ، بكمية محدودة من الطينة المستخدمة لهذا الغرض . وفى العادة ، تبدأ بوادر الخبث فى الظهور بعد ١٢ إلى ١٥ ساعة من بدء التشغيل ، وذلك تبعاً لخواص الشحنة المستخدمة .

وهكذا يستمر العمل بالفرن الذى يحوى فتحة على فترات زمنية قصيرة « كل ساعتين »

ليخرج الخبث الذى تم تكوينه . ومن مظهر الخبث الناتج وخواصه ، يمكن الحكم على حالة الفرن ، وبالتالى مدى احتياجه إلى المزيد من الوقود ، أو الاكتفاء بما تم شحنه .كما يحدد الموقف بالنسبة لباقى المشحونات ، بمعنى تقييم الموقف ، ليمكن اتخاذ اللازم لسلامة التشغيل .

أما بوادر الحديد ، فتبدأ فى الظهور بعد ٢٥ إلى ٢٨ ساعة من بدء التشغيل . وفى العادة يحوى الحديد المنتج نسباً عالية من الكبريت ، والشوائب الأخرى ، التى تجعله غير صالح للاستخدام بأقسام الصلب ، إلى خردة ، يمكن استخدامها بنسبة محدودة فى شحنة الفرن بعد ذلك .

ومع تتابع الوقت ، تزداد كمية هواء النفخ تدريجا ، وهكذا حتى تصل إلى الكمية المحددة لها ، ويتبع ذلك زيادة كمية الخبث والحديد المنتجة . وتطول الفترات بين الصبات حتى تصل إلى الزمن الطبيعى لها . وبذا يبدأ الفرن مرحلة تشغيله ، التى تتراوح ما بين أربع وسبع سنوات ، رغم أن بعض الأفران قد تعدى هذا الرقم ، مثل الفرن الثانى بالحديد والصلب بحلوان ، والذى عمل منذ ١٩٦٠ حتى ١٩٧٢ ، أى حوالى إثنى عشر عاماً بنفس البطانة ، ويعتبر ذلك رقماً قياسياً فى الواقع لهذا الحجم من الأفران .

وعقب الصبات الأولى من المعدن والخبث ، ومع ظهور بوادر انتظام العمل بالفرن ، يبدأ فى أخذ عينات من الغاز أعلى الفرن لتحديد تحاليه ، وعندما تنتظم وتخلو نهائياً من الأوكسيجين ، وتصل نسبة الهيدروجين إلى النسبة المسموح بوجدها بالغاز ، يبدأ فى إدخال الفرن فى شبكة الغازات دون أخطار .

ويفضل بعض العاملين بالأفران العالية ، إيقاف الفرن بعد بدء تشغيله بفترة ٤ إلى ٨ ساعات ، وفتح الجرس الأعلى للفرن ، وكذلك فتح فتحات نفخ الهواء ، وبالتالى السماح بحدوث عملية « سحب طبيعى » بالفرن ، تساعد فى تنسيق عملية تسخين الطوب الحرارى ، ثم يستأنف النفخ بعد ذلك كالمعتاد .

٢ ـ شحن الفرن :

تعتبر طريقة الفرن العالى الإنتاج الحديد الزهر ، من طرق الإنتاج المستمر ، ويرجع ذلك إلى طبيعة عملياتها التى تتصف بالاستمرار الذى لا يقبل التجزئة . فالهواء اللافح ينفخ باستمرار ، وغازات الأفران العالية تخرج باستمرار ، وصب الخبث والحديد يؤدى بانتظام وباستمرار ، وعليه أصبح لزاما تغذية الفرن من أعلاه بالكوك والخام وخلافه بصفة مستمرة . وتسمى عملية تغذية الفرن بالمشحونات هذه بعملية « شحن الفن » .

ولأهمية هذه العملية ، وللدور الهام والأساسي الذى تلعبه فى فن تشغيل الأفران ، وأثرها فى زيادة طاقاتها الإنتاجية واقتصادياتها ، تلق هذه العملية كل الاهتمام . فبجانب الدقة فى تجهيز وإعداد واختيار الخدمات المستعملة بالفرن العالى ، أمكن عن طريق الهيمنة على عملية الشحن ، سواء بتغيير وزن الشحنة أو ترتيب هبوطها بالفرن ، أو تغيير مستوى الشحن ، أو توزيع الكوك وباقى المشحونات ، الخ ، الحصول على أفضل النتائج فى التشغيل ، وتحقيق أعلى إنتاجية ، باستهلاك أقل كمية من الوقود لإنتاج الحديد الزهر ، حسب المواصفات المحددة والمطلوبة .

تجرى عمليات شحن الفرن بتوالى وصول وتفريغ عربات شحن الفرن لما بها من كوك أو مشحونات « بقادوس » استقبال الشحنة أعلى الفرن ، الشكل (٣٩) ، حيث تهبط منها إلى « الموزع الدائرى » ثم إلى سطح الجرس الصغير ، وعند فتحه تهبط على سطح « الجرس الكبير » وعند فتحه تنزلق لداخل الفرن .

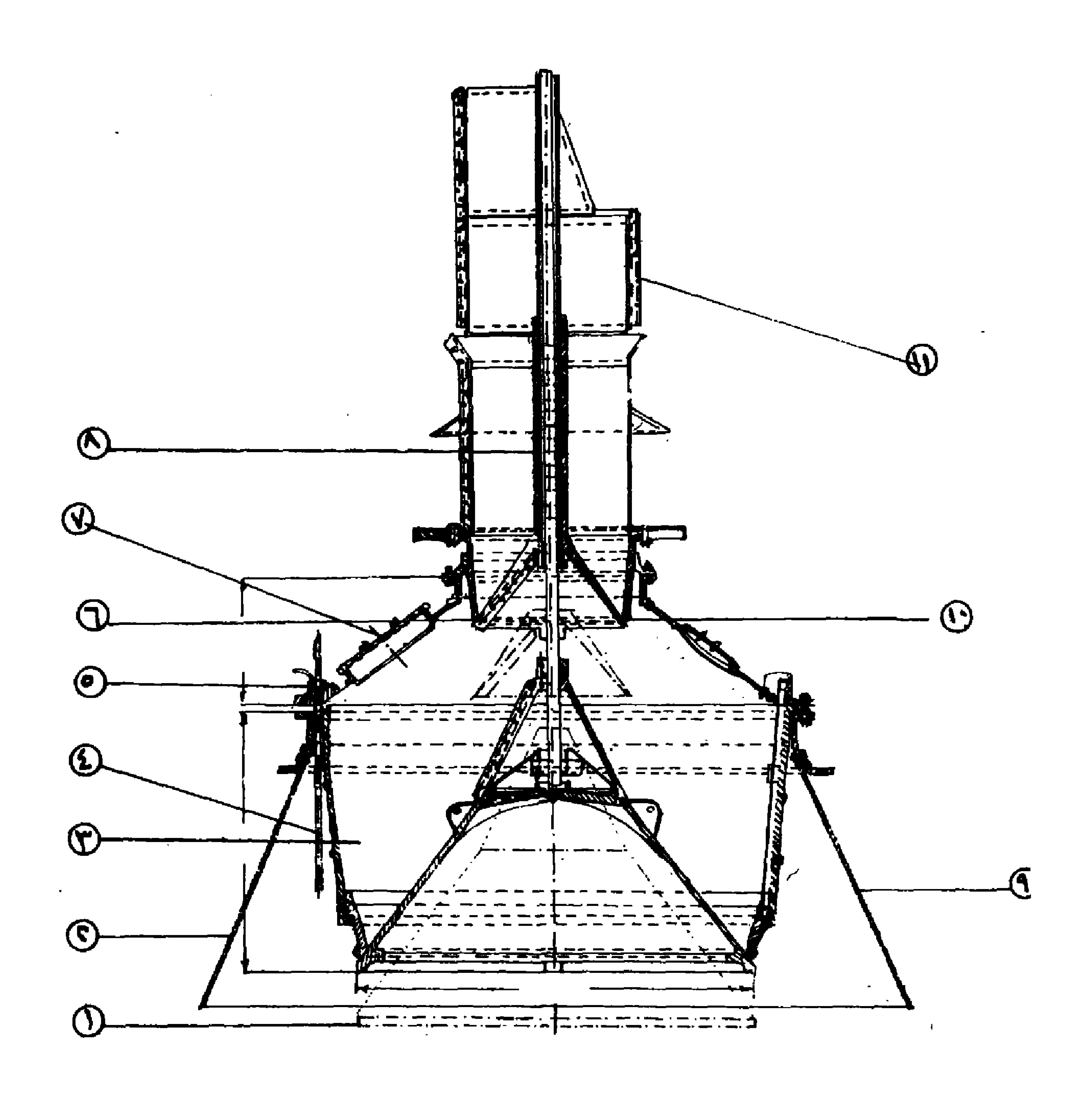
الشكل (٣٩)

ويطلق اسم « شحنة فرن كاملة » على كمية الخامات والكوك المقابل لها المشحونة فى كل دورة من هذه الدورات ، والتى تكون فى مجموعها عمود الشحنات بالفرن العالى ، والمكون من طبقات متتالية من الكوك والخام المنفصلين فى وضوح بأعلى الفرن واللذين يختلطان ويزداد اختلاطهما ، كلما استمر هبوط الشحنة بالفرن .

وعند فتح الجرس الكبير للسماح للشحنة التى فوقه بالهبوط إلى داخل الفرن ، تنزلق مكوناتها على سطحه المائل ، لترتطم « بجدار الفرن المسلح » ، ثم تتدحرج وتبتعد عنه لتأخذ شكل سطح الشحنة أعلى الفرن .

وحيث أن مكونات الشحنة تختلف فى أحجامها ، لذا تتجمع ـ فى العادة ـ الأحجام الصغيرة ناحية جدار الفرن ، وتتدحرج الأحجام الأكبر إلى مسافات متباينة نحو منتصفه . ومثل هذا التوزيع ، يؤدى إلى زيادة مسامية الشحنة عن منتصف الفرن ويعنى الإقلال من المقاومة لعامود الغازات الصاعدة ، وبالتالى كمية الغازات عند منتصف الفرن ، والإقلال منها ناحية الجدار . ويقال فى هذه الحالة إن الفرن « يعمل من منتصفه » . وفى حالة انعكاس هذه الحاله ، بمعنى صعود الغازات بكثرة ملامسها لجوانب الفرن ، بسبب زيادة مسامية الشحنة الملامسة للجدران عنها فى منتصف الفرن يقال إن الفرن « يعمل من جوانبه » .

وكلا الحالتين السابقتين غير مرغوب فيهما فى تشغيل الأفران العالية ، لأن تصاعد



شكل ٣٩- قمة الفرن ومعدات الشحن أعلاه

الغازات وبكثرة . ملامساً لجوانب الفرن ، يؤدى إلى إتلاف مبردات الطوب الحرارى ، وبالتالى تسرب المياه لداخل الفرن ، وما يتبع ذلك من متاعب . بالإضافة إلى ماتسببه هذه الغازات من أضرار للطوب المبطن للفرن . وكذلك فإن صعود الغازات عند منتصف الفرن ، يؤدى بعد فترة من التشغيل ، إلى تكوين رواسب الفرن العالى ، التى تقلل من كفاءته وتسبب الكثير من متاعب التشغيل . ولهذا كله يسعى العاملون بالأفران العالية دواماً ، إلى تشغيل أفرانهم بما يحقق حسن توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن فى جميع المستويات .

وقد أمكن ـ عن طريق تجهيز الأفران الحديثة بموزع الشحنات ، وبأجهزة القياس الدقيقة ، التى تحدد كمية الهواء اللافح الداخلةبكل فتحة من فتحات نفخ الهواء (الودنات) ، بالإضافة إلى استخدام تلك الأجهزة التى تقوم بقياس درجات حرارة الغازات الصاعدة قرب سطح شحنة الفرن وتحليلها ـ التحكم فى توزيع المشحونات والكوك بأعلى الفرن ، بما يحقق عدالة توزيع الغازات الصاعدة على المقطع ، ولتكتمل الاستفادة التامة بالحرارة الكامنة بها ، فى تجهيز الشحنات الهابطة

وبالإضافة إلى ما ذكر آنفا فإن لدى العاملين بالأفران ، إمكانيات عديدة للتغلب على أى ذبذبات فى تناسق توزيع الغازات الصاعدة ، وبالتالى التحكم فيه والهيمنة عليه . فمثلاً :

١ ـ عند زيادة وزن الشحنة على قدر معين ، تزداد كمية الخام المتدحرج إلى منتصف الفرن ، وبالتالى تتصاعد الغازات ملامسة لجوانب الفرن ، والعكس بخفض وزن الشحنة ، تتصاعد الغازات ، نتيجة تراكم الخام بجوار جدار الفرن بكثرة عن المنتصف ، وعليه يمكن بالاختيار المبنى على التجربة ، تحديد الوزن الأمثل لشحنة كل فرن .

٢ ـ بزيادة المسافة بين نهاية فتحة الجرس الكبير وسطح الشحنة (مستوى الشحن) عن مقدار معين ، يتراكم الكوك بمنتصف الفرن ، وبالتالى يسهل صعود الغازات من هذه المنطقة ، وبإقلال هذه المسافة يتراكم الخام فى منتصف الفرن ، وبالتالى يزداد صعود الغازات ملامسة لجوانب الفرن ، وعليه يمكن تحديد المسافة المثلى لتحقيق أفضل توزيع للغازات الصاعدة .

٣ ـ يشحن الكوك والخامات فى شحنات متعاقبة بالفرن بعضها منفصل عن الآخر ، أو يمكن تجميع كل شحنة (كوك+ما يقابله من باقى الخامات) أعلى الجرس الكبير ، ثم السماح

لها بالهبوط مرة واحدة . وعليه يتعدد ويتنوع ترتيب هبوط الشحنات داخل الفرن ، حسب إتاحة الفرصة لها للهبوط من فوق الجرس الكبير ، فيقال مثلا : كوك . كوك / خام . خام ، ومعنى ذلك عربة شحن كوك تفرغ بالقادوس إلى الجرس الصغير ، ثم أعلى الجرس الكبير ، تليها أخرى بنفس الوضع ، ثم يسمح بفتح الجرس الكبير ، ويغلق ثانية ، ليشحن أعلاه حمولة عربتى شحن من الخامات ، ويفتح الجرس الكبير بعدئذ . أو يقال كوك . كوك . خام . خام . بمعنى أن حمولة عربة للشحن من المواد المحددة حسب ترتيبها ، تمر خلال مراحل الشحن ، لتجمع كلها حسب الترتيب الآنف الذكر ، على الجرس الكبير الذى يفتح بعدئذ .

وهنالك العديد من التبادل والتوافيق ، فيما يختص بعدد عربات كل خامة وتنظيم هبوطها ، نورد ما يلى كمثال لها :

١ ـ خام . كوك . كوك / خام . حجر جيرى . كوك . كوك . / .
٢ ـ خام . خام / حجر جيرى كوك . كوك / .
٣ ـ خام . حجر جيرى كوك . كوك / خام . خام حجر جيرى .
٤ ـ كوك . كوك . كوك . / خام . خام . حجر جيرى/ .
٥ ـ خام . كوك . كوك / خام . حجر جيرى . كوك . كوك / .
٦ ـ خام . كوك . كوك . حجر جيرى / كوك . كوك خام . كوك / .

وباختصار يمكن القول بأن الخبرة العملية والمعرفة الميدانية والتقدم التكنولوجى قد أمدت العاملين بالأفران العالية ، بإمكانيات كبيرة للهيمنة على شحن الفرن ، وبالتالى معالجة أى صعوبات تتعلق به . بل وجعلت منه مقياساً لرقابة عمل الفرن وانتظامه . فيمكن من خلال مراقبة عدد الشحنات التى يتم شحنها خلال فترة زمنية محددة ، معرفة حالة الفرن وعملياته ، ومن ثم فإذا انخفض العدد عن المعدل ، مع ثبات باقى مؤثرات التشغيل ، كان ذلك مؤشرا يدل على ارتفاع درجة حرارة الفرن ، واحتمال تعليق الشحنات . وإذا زاد العدد عن المعدل ، دل ذلك على برودة الفرن . وهكذا يمكن التنبؤ بأى عطب أو خلل فى التشغيل قبل وقوعه ، مما يمكن بالتالى من اتخاذ الإجراء اللازم لمعالجته والتغلب عليه .

٣ ـ الإعداد لصب الفرن ـ عملية فتح الفرن :

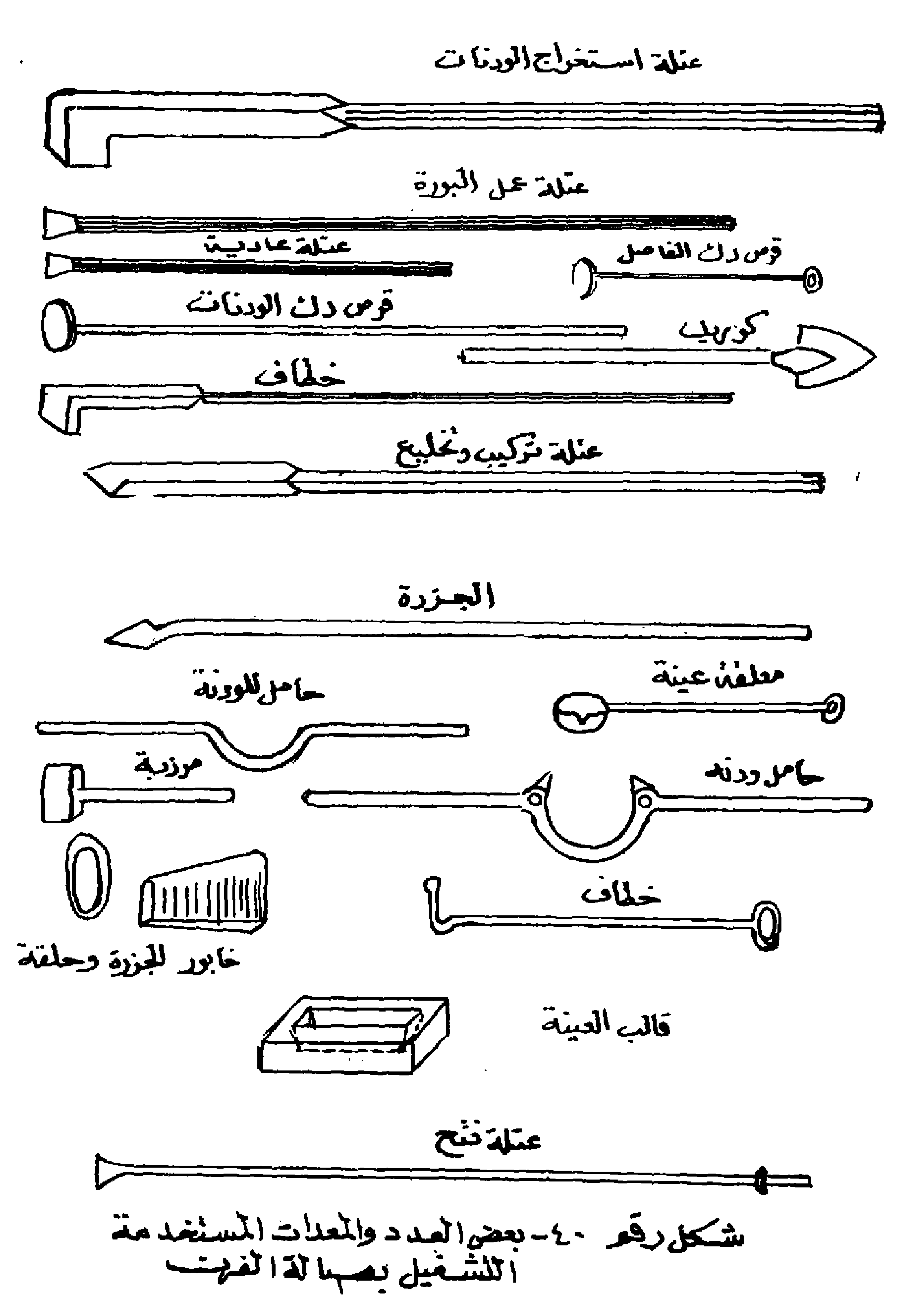
يبدأ الإعداد لصبة الفرن فى العادة ، بعد مدة وجيزة من انتهاء الصبة السابقة ، حيث يقوم العاملون بنظافة مخلفات الصبة السابقة ، برفعها من مجارى الحديد والخبث ، ثم بترميم

هذه المجاري ، والاطمئنان على سلامتها ، خاصة المجرى الرئيسية ، ومبانى فاصل الحديد والخبث . ويتطلب هذا العمل خبرة خاصة ، وقوة تحمل كبيرة ، نظراً للظروف التى يؤدى فيها . ويتم ترميم مجارى الحديد والمجرى الرئيسية ، بخلطة من الطين الحرارى ، تختلف عن تلك المستخدمة لمجارى الخبث فى تكوينها الكيميائى والطبيعى وفى مكوناتها ، ثم يجرى تجفيفها تماماً ، بإشعال الخشب بها ، أو بإشعال غاز الأفران العالية ، إذ أن أى تلامس بين الحديد السائل والماء ، يولد انفجارات بالغة الخطورة .

وعند قرب حلول موعد الصبة ، يبدأ عامل أول الفرن أو الملاحظ ـ شخص له خبرة طويلة ـ فى إزالة الطين الحرارى المغلق لفتحة الحديد ، جزئياً وباحتياطات بالغة ، وذلك **باستخدام «عتلة الفتح» ، الشكل (٤٠) ، ويحصل نتيجة عمله على ثقب دائرى بقطر ١٠** سم تقريباً . وهو فى خلال عمله ، يلاحظ دواماً مدى تماسك جوانب الفتحة واتجاه الثقب داخل الفرن ، الذى يميل فى العادة ٢٠° عن الأفق . ويستمر العامل فى العمل ، وإزالة الخلطة الجافة الناتجة ، حتى يبدأ لون الخلطة فى التغير من اللون الرمادى إلى اللون البنى الداكن ، وهذا دليل على الاقتراب من الحديد السائل . وعندئذ يتوقف عن العمل . ومن خلال ملاحظته لتماسك الخلطة ، ومدى جفافها ، وحالة جوانب الفتحة ، يتمكن العامل من الحكم على ما سيكون عليه سير الصبة بعد ذلك ، وبالتالى يبدأ فى اتخاذ الاحتياطات اللازمة للتغلب على أية متاعب قد تحدث فى حالة الصبات غير عادية « توقع اتساع فتحة الحديد خلال الصبة وما يعقبها من اندفاع المعدن ، توقع خروج قطع من الكوك فى نهاية الصبة ، الخ .

وتعتبر المسافة التى تم تفريغها من الخلطة « طول الثقب » ، وهو من أهم مؤشرات التشغيل للأفران العالية ، ويسمى « طول فتحة الحديد » ، ويتطلب التشغيل السليم للأفران العالية ، ضرورة المحافظة عليه عند مقدار معين يتناسب وقطر بودقة الصهر . وقد حدد هذا المقدار بالنسبة للأفران التى يبلغ قطر بودقة الصهر بها أقل من ٥ أمتار بطول يبلغ من ١٢٠ إلى ١٥٠ سم ، وبالنسبة للأفران بقطر أكبر من ٥ أمتار ، بطول أكبر من ١٨٠ سم .

ومن الناحية العملية ، تسبب زيادة أو نقص «دخول فتحة الحديد» عن هذا المقدار ، أضراراً بالتشغيل فمثلا يتسبب قصر الفتحة ، فى اندفاع المعدن والخبث بشدة عند فتح الفرن ، وكذا فى خروج كميات من الكوك ، تتراكم بالمجرى الرئيسى وأمام الفتحة ، مما قد



شكل رقم ٤٠- بعض العدد والمعدات المستخدمة في التشغيل بصالة الفرن

يتعذر معه اغلاق الفرن ، وبالتالى ضرورة ايقافه لإزالتها ، ليمكن إغلاق الفرن . هذا بجانب عدم التمكن من تفريغ الفرن تماما من الخبث والحديد الذى به عند قصر الفتحة . ولو استمر قصر الفتحة لفترة طويلة دون علاج ، فقد يؤدى ذلك إلى ما يسمى « تصدع بودقة الصهر » بالفرن العالى ، وإنه وإن كان ذلك التصدع يحدث نتيجة العديد من لأسباب ، إلا أن اقتراب المعدن والخبث ، ، وملامستها لمبانى البطانه فى هذه المنطقة بالفرن ، يعد أكبرها مفعولاً . كما أن قصر الفتحة قد يؤدى إلى فتح الفرن تلقائياً ، وعلى حين غرة ، مما يسبب إرباكاً للعاملين ، وخسائر جسيمة للمعدات والآلات .

أما زيادة طول الفتحة عن الحد المحدد ، فيسبب طول الزمن الذى تستغرقه الصبات ، وبالتالى يسبب تضارب مواعيدها ، بالإضافة إلى انخفاض درجة حرارة المعدن ببوادق الحديد خلال هذه الفترة .

ويعالج قصر الفتحة بزيادة كمية الخلطة المستخدمة فى إغلاق الفتحة ، والتحكم فى مكوناتها ، وإضافة القار أحيانا إليها ، وقد يتطلب الأمر تخفيض كمية النفخ ، مع ضرورة زيادة كمية الخبث المحسوبة من فتحة الخبث العلوية . أما طول الفتحة ، فيعالج بالإقلال من كمية الخلطة المستخدمة فى الفتحات التالية ، وحتى الوصول إلى الطول المحدد .

وبعد الانتهاء من عمل النقب « البورة » ، تستخدم ماكينة فتح الفرن فى ثقب القشرة الداكنة داخل الفرن ، ثم تسحب ، حيث ينساب الحديد أولا . ويمضى الزمن ، ينساب خليط من الحديد والخبث إلى المجرى الرئيسى حتى فاصل الحديد عن الخبث ، حيث يتم فصلهما تبعاً للوزن النوعى لكل منهما ، ولينساب كل منهما فى المجارى المخصصة له إلى البوادق .

وأنواع مكنات الفتح عديدة :

١ ـ جاكوش فتح الفرن :

والذى يتكون من مطرقة تعمل بالهواء المضغوط ، تتسبب حركتها الترددية السريعة إلى الأمام وإلى الخلف ، فى دفع قضيب مركب بمقدمتها داخل الفرن ، وبالتالى فتح الفرن .

٢ ـ مكنات الفتح الكهربائية :

والتى تعمل بموتور يقوم مقام الهواء المضغوط فى إعطاء الحركة الترددية ، أو يتسبب فى دوران القضيب ، وبالتالى يسبب دخوله فى الفرن ويفتحه .

ومكنات الفتح تركب على عمود بجوار فتحة الفرن ، بحيث تتحرك لتأخذ وضعها عند استعمالها ، ثم تحرك إلى جوار الفرن بعيدا عن المجرى الرئيسى بعد الفتح . وعليه فهى

مجهزة بموتور للحركة الجانبية ، بالإضافة إلى موتور التشغيل .

وتعتبر « زاوية ميل » قضيب ماكينة الفتح عن الأفق فى غاية الأهمية حيث أن التغير فى قيمتها ، يؤدى إلى فتح الفرن فى مناطق مختلفة به ، وبالتالى إضعاف تماسك بطانة الفرن فى هذا المكان الحساس . هذا بالإضافة إلى أن إقلال قيمة هذه الزاوية عن القدر المحدد لها ، يؤدى إلى سهولة خروج قطع من الكوك ، تتسبب فى إغلاق الفتحة ، وتحتاج إلى مجهود فى التسليك ، وبالتالى تؤدى إلى زيادة زمن الصبة .

وعند الانتهاء من الصبة ، ويعرف ذلك بنقص كمية الخبث والحديد التى تخرج من الفتحة وظهور لهب خارج من الفرن ، يعطى ملاحظ الفرن اشارة لعامل مختص لإغلاق الفرن ، أو إغلاق فتحة الحديد . ويستخدم لهذا الغرض « مكنه غلق الفرن » وتسمى باللغة الدارجة « المدفع » ، التى تتكون من أسطوانة مغلقة ، يتحرك بداخلها « بستم » . وتملأ هذه الأسطوانة بالخلطة الحرارية المستخدمة فى إغلاق الفرن ثم تقفل ، ويتحرك البستم إلى الأمام ، ضاغطا الخلطة لملء أى فراغ بالأسطوانة ، أو بمقدمة المدفع المخروطية الشكل ، والتى تنتهى بها الأسطوانة ، ويستمر هذا الضغط حتى ينزلق بعض الخلطة من المقدمة ، تأكيدا لامتلاء الفراغ بها كلية . وعند صدور الأمر بالإغلاق ، تتحرك الماكينة فى حركة دورانية ، لتأخذ مكانها أمام الفتحة ، وغلق مقدمتها المخروطية فتحة الحديد تماما ، ثم يتحرك البستم وبسرعة ـ بمجرد تلامس المقدمة وسطح الفتحة ـ لتدفع الخلطة الى داخل الفرن ، مغلقة الفتحة تماما .

وتجهز مكنة الفتح بموتورات كهربائية لتحريك البستم ، ولتحريك المكنة فى الاتجاه الأفقى حركة دورانية . كما تجهز بفرامل تمنع حركة الماكينة من أمام الفتحة نتيجة الضغط عليها من داخل الفرن . وعادة تجهز أيضاً بمعدات كهربائية ، تحدد بداية ونهاية حركة كل جزء بها . كما تحمل مؤشراً يدل على كمية الخلطة التى استخدمت فى عملية الإغلاق ، يساعد فى معرفة موقف طول فتحة الحديد ، وبالتالى الهيمنة عليه .

بعد ضغط الخلطة داخل الفرن ، تظل مكنة الإغلاق مكانها مغلقة للفتحة لمدة وجيزة ، قبل أن يسمح بتحريكها من مكانها ، وهو الوقت اللازم لتماسك الخلطة نسبياً ، وبالتالى الاطمئنان إلى إغلاق الفرن ، ثم تحرك بمنتهى الحذر (لاحتمال فتح الفرن) إلى موضعها بجانب الفرن ، حيث يتم على الفور فتح الأسطوانة والماسورة المخروطية وتنظيفهما من مخلفات الخلطة السابقة ، ثم تملآن من جديد ، إعداداً للصبة القادمة .

وقبل إغلاق الفتحة بالمكنة ، يلزم أن تكون جوانب فتحة الفرن وسطحها نظيفة تماماً من أي عائق قد يعوق تلامس مقدمة المكنة تماما ، وبدقة مع سطح الفتحة ، فقد يترتب على ارتكاز مقدمة المدفع على أى عائق ، عدم تلامسها ، وبالتالى فعند ضغط الخلطة إلى داخل الفرن ، تتسرب هذه من خلال الحيز الموجود بينها ، ومن ثم لا يغلق الفرن ، ويستمر خروج بقايا الحديد التى تتسبب فى تآكل فوهة مقدمة مكنة الإغلاق ، ولهذا يتحتم تخفيض تعدل نفخ الفرن أو توقف الفرن ، حتى يتم تغيير هذه ، ثم إغلاق الفتحة بعد ذلك .

٤ ـ فتح فتحة الخبث :

بعد صبة الفرن بحوالى الساعة ، تتجمع كمية من الخبث تعلو الحديد ببودقة الصهر ، بحيث تصل إلى مستوى فتحة الخبث الجانبية ، وعليه يبدأ فى فتح هذه للحصول منها على مايسمى « الخبث العلوى » . ويتم ذلك ـ فى الأفران غير المجهزة بماكينة قفل فتحة الخبث ـ بالدق على نهاية قضيب من الحديد يغلق هذه الفتحة ، تم تركيبه من المرة السابقة ، ليدخل قليلاً إلى داخل الفرن ، ثم يسحب هذا القضيب لينساب الخبث إلى مجرى يتم دكه بخلطة خاصة من الطين الحرارى ، تحتوى على نسبة عالية من الكربون . ويجدد بناء المجرى مع استمرار ترميمه ، فى كل مرة يستخدم فيها خلال بقية اليوم ، مع إزالة أى أثر للمعدن الهارب فى كميات صغيرة مع الخبث الذى يتجمع عادة تحت جلية الجلخ الصغيرة ، أو ملامسا لصاج الفرن . وبفتح الفتحة ينساب الخبث إلى بوادقه ، وعند انتهاء الصب ، تغلق **الفتحة بواسطة (الجزرة) ، (أنظر الشكل ٤٠) ، وهى عبارة عن قضيب من المعدن يلحم فى إحدى نهايتيه مخروط من الصاج مغلق ، فيدخل الجزء المدبب من المخروط فى فراغ جلبة الخبث الصغيرة ، ويتلامس سطحه مع جوانب الجلبة ويغلقها . وبعد فترة من الزمن ترفع هذه ، ويدق فى مكانها قضيب يتراكم عليه بعد وضعه ، قليل من الخبث ، فيغلق الفتحة تماما ، وهو القضيب الذى يتم سحبه عند بدء الفتح .**

وقد يحدث أحيانا أن لا يخرج هذا القضيب بسهولة ، فيركب عليه خابور يربط إليه بواسطة حلقة من الصلب ، ثم يدق على الخابور فى الاتجاه خارج الفرن ، وبالتالى يسحب هذا فى حركته معه القضيب ، ويتم فتح الخبث . وقد يحدث أن يتم سحب القضيب دون خروج الخبث ، فيعاد إدخاله ثانية والدق عليه إلى داخل الفرن ، إلى مسافة أبعد ثم سحبه فتفتح فتحة الخبث .

أما إذا امتنع رغم كل ذلك خروج الخبث ، فتفتح باستخدام الأوكسجين ، ويتلخص ذلك فى حرق الأوكسجين الخارج من أسطوانة خاصة خلال منظم يخفض من ضغطه الأصلى ، حيث أن ضغط الأوكسجين فى اسطواناته يتراوح ما بين ١٥٠, ١٨٠ جوى . وعليه تفتح الأسطوانة لينساب منها الغاز بكمية صغيرة خلال خرطوم - بمواصفات خاصة - ثم إلى ماسورة من الصلب ، قطرها من ٦ إلى ٩ م ، يوجه طرفها الآخر الحر إلى قطع من الكوك أو الخشب المتوهج ، حيث يبدأ اشتعال الأوكسجين . وعند التأكد من ذلك ، تزاد كميته ثم يسدد طرف الماسورة هذا إلى منتصف جلبة الخبث الصغيرة ، فيتم فتحها وينساب الخبث منها . وهذه العملية من العمليات التى تحتاج إلى دقة ومهارة خاصة ، ذلك لأن الحرارة الناجمة عن احتراق الأوكسجين تسبب إسالة معدن الماسورة المستخدمة ، عن طرفها القريب من اللهب ، وهذا المعدن السائل ، يؤدى إلى تآكل نحاس جلبة الخبث عند سقوطه على سطحها ، وربما أدى إلى إحداث ثقوب بها ، مما يسبب متاعب تشغيل كبيرة بعد ذلك . ولهذا ، وفى مثل هذه الحالات ، يغطى الجزء الأسفل من الجلبة برمل المسابك ، منعا لتلامس المعدن المنصهر وسطح الجلبة .

ويعلل ما يحدث عند فتح جلبة الخبث باستخدام الأوكسجين ، بأنه وكنتيجة لاحتراق الغاز ، تتولد فى المحيط كمية عالية من الحرارة ، تساعد فى تكوين مركبات جديدة من حديد الماسورة المنصهر ، ومركبات الخبث المغلق للفتحة ، وتتميز هذه المركبات بانخفاض درجة حرارة إسالتها ، فيتوالى حرق الأوكسجين ، تنصهر هذه ، وتتكون مكانها ثغرة ينساب من خلالها الخبث الساخن من داخل الفرن ، ليكمل إسالة بقية الخبث المغلق أصلا للفتحة .

وتستخدم حاليا فى كثير من بلدان العالم ، ماكينة لفتح جلبة الخبث ، تماثل فى شكلها ونظرية تشغيلها ، تلك المستخدمة فى فتح الفرن ، وتركب هذه إلى جوار فتحة الخبث . وفى الأفران ذات فتحتى الخبث ، تركب لكل منها ماكينة خاصة ، وبالتالى يمكن تحاشى الكثير من الأخطار التى قد تصيب العاملين فى هذه المنطقة الحساسة .

ويجب عند استخدام الأوكسجين فى فتح الفرن ، أو فتح جلبة الخبث ، التأكد من عدم وجود أى أثر للمشحومات أو الزيوت فى مسار الأوكسجين ، وخاصة فى الخراطيم المستخدمة ، لأن ذلك يولد انفجارا خطيرا ، قد يفتت الخراطيم ويضر بالعاملين .

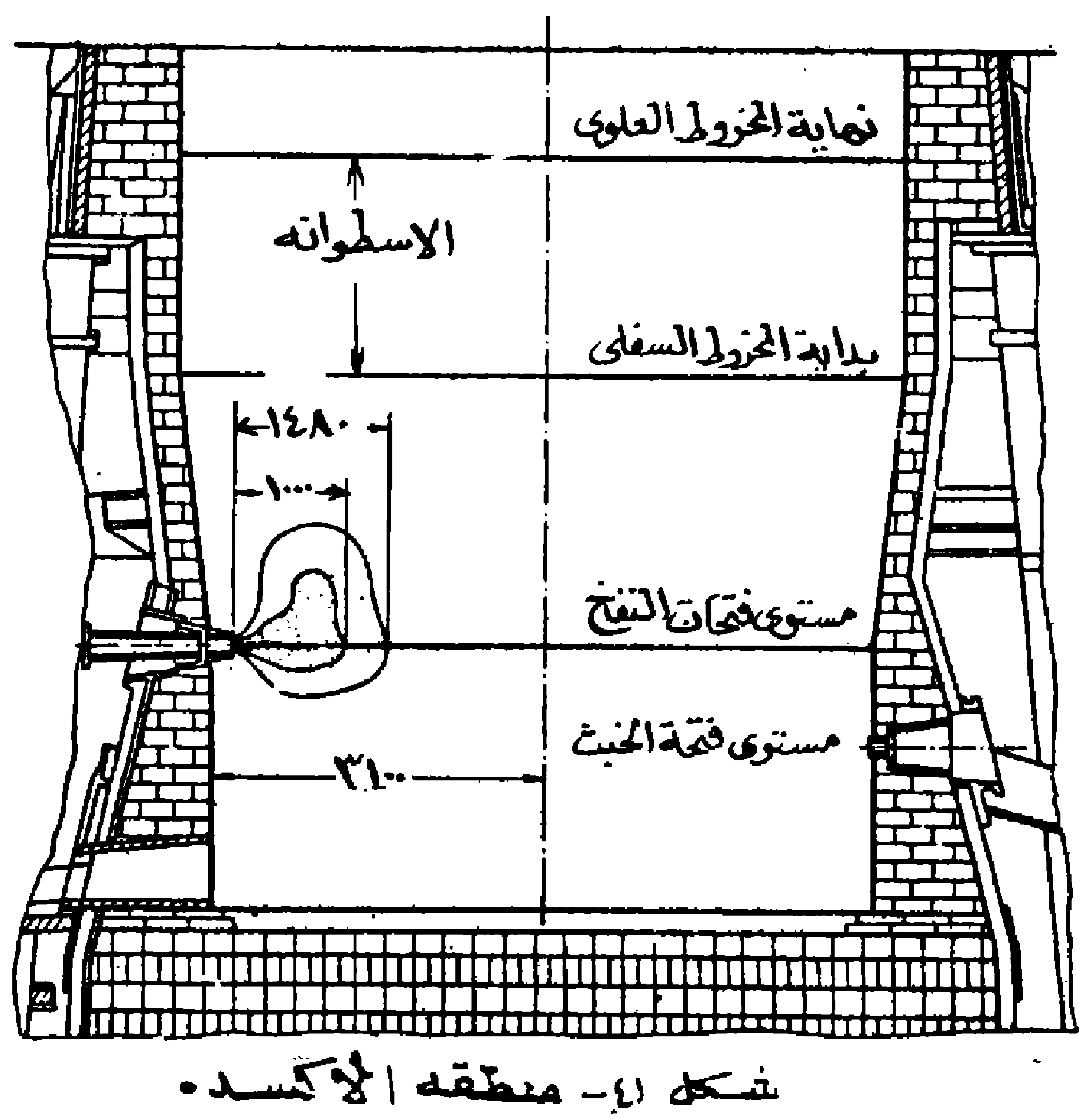
٥ ـ تركيب وتغيير معدات التبريد :

يستخدم فى الأفران العالية ، وبغرض تبريد بطانة الفرن ، ومداخل ومخارج الهواء اللافح ، والخبث ، مبردات عادة من الحديد الهماتيى للأولى ، ومن النحاس للثانية ، يمرر الماء خلالها ، ليحفظ لها شكلها ، ويمتص جزءا من الحرارة المتعرضة لها . ومن الثابت عمليا ، أن كفاءة التبريد هذه ، تقف عند حد معين ، وبالتالى تتآكل بطانة الفرن ـ فى المراحل الأولى من تشغيله ـ بمعدل سريع ثم ببطء ، حتى تكتسب بعد فترة « بروفيلا » أكثر ثباتا ، وأقل تآكلا . وعند هذا الحد ، تتعرض أسطح أو مقدمات هذه المبردات إلى درجات حرارة عالية ، بالإضافة إلى تلامسها المباشر مع الخبث والحديد فى المناطق السفلى من الفرن ، الأمر الذى يسبب لها أضرارا كبيرة ، خاصة إذا ما تعرضت لانقطاع مفاجىء للماء المار بها لسبب أو لآخر ، وينجم عن ذلك حدوث ثقوب أو شروخ بها ، ينساب منها الماء الداخل الفرن . ويكتشف ذلك عن طريق زيادة نسبة الهيدروچين فى الغازات الخارجة من الفرن ، أو عن طريق مراقبة كمية المياه الخارجة من المبرد ، ودرجة حرارتها أو ضغطها . كما يمكن معرفة ذلك ، بملاحظة برودة الخبث والمعدن المفاجئة ، أو بزيادة معدل الشحنات للفرن فى الساعة ، الخ . من العديد من شواهد الخبرة ، وعليه يستوجب الأمر سرعة التخلص من المبرد المعطوب ، واستبداله بعد تحديده .

وتتم عملية التحديد عادة بخبرة العاملين ، ثم يؤكد ذلك بتوصيل الجزء المعطوب بمقياس فى دائرة التغذية ، لقياس كمية الماء الداخلة والخارجة . وقد يستخدم أحيانا جهاز للضغط ، يوصل بمدخل المبرد المعطوب ، ثم مخرج المبرد ، وتضغط كمية من الماء من الجهاز إلى المبرد ، إلى أن يصل المبرد إلى مقدار معين ، ويترك فترة من الزمن يراقب خلالها جهاز المانومتر المركب بالجهاز ، فإذا انخفضت قيمة الضغط عن الضغط الأصلى ، كان ذلك دليلا على عطب المبرد . أما إذا ثبتت القيمة أو زادت قليلا ، نتيجة ارتفاع درجة حرارة الماء بالمبرد ، دل ذلك على سلامة المبرد . وبالتالى يتحتم اختبار المجاورين له ، أو البحث عن سبب آخر لبرودة الخبث والحديد .

ـ بعد تحديد المبرد المعطوب ، يغلق مدخل مياه التبريد المناظر له جزئيا ، بغرض الإقلال من كمية المياه الداخلة إليه ، وبالتالى الإقلال من تسربها لداخل الفرن ، ثم يبدأ فورا فى اتخاذ الإجراءات اللازمة لاستبداله .

ففى حالة الودنات أو مبرداتها ، أنظر الشكل (٤١) ، يوقف الفرن ، وتفك توصيلات



شكل ٤١ - منطقة الأكسدة

الهـواء اللافح الخـاصة بالمبرد المعـطوب ، وذلك بإزالة « خـوابير » تثبيت الكوع الكبير إلى ماسورة الهـواء اللافح ، ثم يسـحب الكوع إلى الخلف ، بواسـطة شـدادات تعلق فى أماكن خاصة مجهز بها الفرن ، وبالتالى تسحب ماسـورة النفـخ ، حيث يبدأ بعـدئذ فى دك شـحنة الفرن خلف المبرد المعطوب ، بكرات من طينة حرارية ، وبعناية تامة ، وذلك حـتى لا تنهـار المشحونات عند سـحب الودنة أو المبرد من مكانهـا ، وتسـبب متاعب لإزالتهـا عند تركيب البديل الجديد . كما أن ذلك يمنع تعرض الودنة أو المبرد الجديد عند تركيبه ، لحـرارة الفـرن مباشرة قبل التمكن من توصـيله بمياه التبريد ، وبالتالى تجنب احتمال حـدوث أى أضرار به . بعد ذلك يبدأ فى فك توصيلات مياه التغذية ، ثم يسـحب الجـزء المعـطوب من مكانه ، وذلك باستخدام مطرقة خاصة ، عبارة عن عامود غليظ من الصلب ينتهـى بشـفة سميكة على هيئة خـطاف . أنظر الشكل (٤٠) يركب فى الحـيز بين سـطح المبرد (الودنة) وعارض سميك من الصلب ، يركب فى فجـوتين خـاصتين تكونهما حـافتان بارزتان بجسـم المبرد (أو الودنة) . وبالطرق المنتظم على هذا العـارض ، يتخلخـل المبرد (أو الودنة) من مكانه فيسـحب خـارجا . وقد يتعـذر أحيانا عملية إخـراج المبرد (أو الودنة) ، حيث أنه وكنتيجـة لخفض كمية مياه التبريد ، يتمدد ويتماسـك بجـدار الفـرن ، فعندئذ يجـب أن تتوقف عملية الدق ، ويترك المبرد (أو الودنة) لفترة من الزمن ، ثم يبرد فجـأة ، وذلك بزيادة كمية مياه التبريد له دفعة واحدة . وحينئذ يجب أن يبتعد العاملون عن مداخل الهواء اللافح ، ذلك أنه يحتمل أن يتسرب جزء من هذا الماء لداخل الفرن ، وبالتالى يتكون « غاز الماء » سريع الاشتعال ، مما قد يسبب خروج لهب من مداخل الغاز . وبعد انتهـاء عملية التبريد المفـاجىء يبدأ ثانية الدق لإخـراج الجـزء المعـطوب . وربما يتكرر ذلك العمل أكثر من مرة . فإذا فشـلت كل المجهودات لإخراج المبرد (أو الودنة) ، يلجأ إلى تسخينه بقطع من الخشب الملتهب توضع فى تجويفه ، يعقبها تبريد مفاجىء ، وهكذا ... حتى يتم سحبه من موضعه . أما إذا تعـذر رغم ذلك كله ، إخراجه من مكانه ، فيقطع إلى أجزاء باستخدام لهب الأوكسـچين ، ويرتفـع كل جزء منها على حدة . ويستغرق ذلك وقتا طويلا ، ومجهـودا مضـنيا . ويحـدث ذلك عادة عند عدم نظافة المنطقة خلف المبرد (أو الودنة) داخل الفـرن ، ووجـود معـدن منصـهر مرتبط بسطح المبرد الداخلى ، لا يتمكن العاملون من تنظيفه .

وبانتهاء عملية إخـراج المبرد (أو الودنة) من مكانه ، يبدأ فى تنظيف جـوانب هذا المكان ، وعادة إضافة طبقـة طينية حـرارية رقيقـة فى محيطه . ثم تختبر ملاءمة المكان المعـد

لتركيب الجزء الجـديد ، الذى يتم رفعـه إلى مكانه ، باسـتخدام رافع خـاص عبارة عن قضيب مشكل بهيئة قوس تلائم شكل المبرد الخارجى ، ويحمله العـاملون من أطـرافه ، انظر الشكل (٤٠) ، وبالتالى يوضـع البديل فى مكانه بصـفة مبدئية ، حيث يتم توصـيل مياه التبريد إليه ، ثم يركب فى مكانه بدقة بعد ذلك ، بالطرق على العارض ، باستخدام المطرقة ، وعند انتهـاء ذلك ، يبدأ فى تركيب مجموعة النفـخ ، حيث تركب ماسـورة النفـخ والكوع الكبير وخوابير التثبيت والشداد الملحوم بجسـم الفـرن . ثم تختبر المجموعة ضـد التهـريب ، ويتطلب ذلك تحديد موضع ماسـورة النفـخ من الكوع الكبير ، مع بدء فك المجموعة ، ليعـاد تركيبها فى نفس الوضع . وبانتهاء التركيب يعاد تشغيل الفرن .

وتكون مجموعة توصيلات الهواء اللافح والشـداد الذى يربطهـا إلى جسـم الفـرن ، تجهيزات تمنع أى احتمال لطرد مجموعة الودنات أو المبردات من مكانها ، بفعل الضغط عليهـا من داخل الفرن .

أما جلبة الخبث ، ومبردها ، فيحكم تثبيتهـا فى مكانهـا ضـد هذا الضـغط ، مجموعة من الخوابير تربطها والمبرد بجسم الفـرن ، تمنع أى احتمال لإزاحتهـا من مكانهـا . ويتم خلعـها وتركيبها ، بنفس الطريقة المتبعة مع ودنات النفخ ومبرداتها .

ويستدعى تركيب مبرد جلبة الخبث غالبا تغليفه قبل تركيبه بطبقة من الطينة الحـرارية ، تسد كل الفراغ المحتمل وجوده بين سطحها الخارجى ، ومبانى الفرن فى هذه المنطقـة ، حـتى لا يتسرب الخبث أو المعدن من خـلال هذه الفـراغات إلى الخـارج ، مسـببا تآكل الجلبة أو الإضرار بجسم الفرن .

أما مبردات الطوب الحـرارى فى المخـروط العلوى ، والتى تتكون من صـناديق التبريد ، المكشوفة ، فيتم الكشف عن سلامتها بإغلاق ماسورة التغذية ، ومراقبة كمية المياه المتبقية فى الصندوق لفترة ما ، فإذا نقصت كان ذلك دليلا على وجود ثقب بالصندوق ينساب منه الماء إلى داخل الفرن . وعليه يتم رفعه من مكانه كى يستبدل به آخر سـليم . وقد يتطلب ذلك فى كثير من الأحيان ، تقطيع الجزء الملامس لمبانى الفـرن من الصـندوق ، باسـتخدام لهـب الأوكسجين ، ثم تنظيف وإعداد مكان البديل . وخلال عمليات القطع والتجهـيز هذه ، تدك الشحنة داخل الفرن ، بطبقة من الطين الحرارى ، لمنع دخول الهواء الجوى نتيجة السحب ، وبالتالى احتمال تكوين خبث يتساقط فيغلق الفتحة نسـبيا ، ويتسـبب فى عدم إمكان سرعة تجهيز المكان لتركيب الصندوق الجـديد . وإذا حـدث واكتشـف خلل مبرد ما خـلال أيام

التشغيل ، تغلق مياه التغذية عنه نهائيا ، ويغلق بطينة حرارية بدون توقف التشغيل ، ويترك كذلك حتى موعد الصيانة المقبلة ، حيث يتم تغييره .

أما إذا جهز الفرن بالمبردات الحديثة ، انظر شكل (٣٥) التى يصعب أو يتعذر خلعها من مكانها ، فيكتفى فى مثل هذه الحالات ، بإغلاق تغذية المبردات وتركها ، وخاصة مبردات بودقة الصهر والمخروط السفلى .

٦ ـ توقف الفرن العالى :

تتطلب عملية توقف الفرن العالى ، العديد من الإجراءات الدقيقة المعقدة والمتشابكة ، والتى تدعو دواعى الأمن وسلامة التشغيل ، إلى العناية الفائقة بإتمامها خطوة بعد الأخرى ، كما أنه يلازم إيقاف الفرن عن العمل ، برودة الشحنة « ولو جزئيا » ، وبالتالى احتمال العديد من المتاعب عند إعادة التشغيل . ولهذا كله ، التزمت تكنولوجية تشغيل الأفران العالية بمبدأ التشغيل المستمر والإقلال من التوقفات ما أمكن . وعموما يمكن تقسيم توقفات الأفران العالية إلى الأنواع التالية :

الأول : توقفات محدودة الزمن ، تتطلبها أعمال الصيانة لبعض معدات التشغيل المكانيكية أو الكهربائية ، أو لتغيير الودنات أو جلب الخبث أو ميزاتها المعطوبة . ولا يتعدى زمن التوقف فى هذه الحالات أكثر من ١٦ ساعة متواصلة .

الثانى : توقفات تستغرق من ثلاثة إلى أربعة أيام ، لإصلاح معدات الشحن أعلى الفرن أو تغييرها ، أو تغيير التسليح أعلى المخروط العلوى . وتتم هذه العملية مرة كل سنتين (خاصة مع الأفران ذات الضغط العالى بالقمة) .

الثالث : توقفات لهدم وإعادة بناء البطانة الحرارية لمنطقة المخروط العلوى ، وتستغرق هذه من ١٥ إلى ٢٠ يوما ، وتتبعها فى العادة إصلاحات وأعمال صيانة أخرى بالوحدات المساعدة . وتتم هذه العملية مرة كل أربع سنوات .

الرابع : توقف لعمرة شاملة ، يتم خلالها هدم وإعادة تبطين الفرن ، وإصلاح معدات الشحن أو تغييرها . وكذا تجرى عمرات شاملة بالوحدات المساعدة كالمسخنات ومواسير توصيل الهواء اللافح . وعموما يشمل الإصلاح أو التغير كل المعدات التى تدخل فى تشغيل الفرن ، وتستغرق هذه التوقفات فترة تتراوح ما بين ٣٥ إلى ٤٥ يوما ، ويتم بمعدل مرة كل ٦ إلى ٧ سنوات .

وينظم هذه التوقفات جميعها ويحددها ، برنامج محدد ومعروف مقدما لدى جميع مسئولى

المصانع ، يظهر فى صورة خطة منسقة على مدار كامل ، محدد بها موعد وساعات التوقف ، والأعمال التى يجب أن تتم خلال التوقف ، والزمن الذى يستغرقه كل منها . بحيث تكون الصورة واضحة لجميع المنفذين ، وكذا لباقى العاملين بوحدات المصنع الأخرى ، حتى تتمكن هذه من القيام ببعض الصيانات اللازمة لمعدات التشغيل بها خلال نفس الفترة .

الخطوات الواجب اتباعها عند إيقاف الأفران العالية :

كما سبق ذكره ، تلازم توقف الأفران مخاطر جسيمة ، منها احتمال حدوث انفجارات ، أو تسمم العاملين بغاز الأفران الخانق ، أو متاعب تكنولوجية . وللقضاء على كل احتمالات حدوث هذه الأخطار ، يرتبط العاملون بالأفران جميعهم ، بخطة عمل تكاد تكون موحدة على المستوى العالمى ، يمكن تلخيصها كالآتى :

١ ـ تخطر وحدات الأمن الصناعى ، والمرافق والغازات ، ومستهلكو غاز الفرن العالى ، والصيانات المركزية أو الملحقة ، بتوقف الفرن ، بمجرد البدء فى الإعداد لصب الصبة الأخيرة ، حتى تتخذ كل منها ـ كل فى مجال عمله ـ الاحتياط اللازم .

٢ ـ تتخذ الخطوات اللازمة لتفريغ الفرن من كل ما به من المعدن والخبث تماما قبل التوقف مباشرة ، ولزيادة التأكد يترك الفرن « بنفخ » ـ وهو التعبير الذى يطلق لوصف عملية خروج الغازات المحترقة من فتحة الحديد بعد انتهاء الصبة ـ لفترة زمنية كافية ، مع تحاشى خروج الكوك وتراكمه أمام فتحة الحديد .

٣ ـ تغلق فتحة الحديد بكمية قليلة من الطينة الحرارية ـ أقل من المعدل العادى ـ وذلك لتسهيل عملية فتح الفرن عند إعادة التشغيل . وقد تزداد كمية الفحم فى الطينة المستخدمة لنفس الغرض

٤ ـ يبدأ تدريجيا فى تخفيض كمية هواء النفخ ، ويستمر ذلك حتى يصبح ضغط الهواء اللافح مساويا ١,٢ جوى ويراقب مستوى الشحنة بالفرن ، وتعطى الأوامر ، وبوضوح ، بالامتناع نهائيا عن شحن أية شحنة ، وبالتالى يمنع فتح الأجراس نهائيا .

٥ ـ يبدأ فى اتخاذ خطوات فصل الفرن عن شبكة غازات المصانع ، وذلك بإغلاق « بلف » مجمع الأتربة ، فى نفس اللحظة التى تفتح فيه الهواية أعلى الفرن تدريجيا ، وفى تناسق تام بين القائمين بالعمليتين .

٦ ـ تجهيز بعض الأفران العالية بفاصل بعد مجمع الأتربة والحلزونات ، عبارة عن خزان على شكل (U) يمكن ملؤه بالماء ، وذلك زيادة فى احتياطات فصل الفرن المتوقف

عن شبكة الغازات، وخوفا من تهريب بلف مجمع الأتربة.

٧ - يفتح البخار فى المناطق التى يتحمل فيها تكون خليط من الغازات القابلة للاشتعال والمبينة بالشكل ٤٢، وهى تحت الجرس الكبير، وما بين الجرسين، وأعلى مجمع الأتربة الشكل (٤٢).

٨ - يحدد خلال نفس الوقت، أى مبرد يحتمل وجود عطب به، وذلك من خلال النظر داخل الفرن من منظار الودنة، أو بمراقبة كمية مياه التبريد الخارجة منه، (فى العادة يصحب العطب خروج مياه التبريد متقطعة)، وعليه تخفف مياه التبريد إلى أقل ما يمكن، تمهيدا لخلعه واستبداله بمجرد التوقف.

٩ - تخفيض كمية الهواء الداخل تدريجيا، ثم يمنع عن الفرن نهائيا.

١٠- تفتح الأبواب الموجودة بكيعان النفخ، وتغلق فتحات النفخ (بعد التأكد من سلامة المبرد والودنة بمراقبة الفحم أمامها) بكرات من الطينة الحرارية أما المعطوب منها، فيتم تغيير مباشرة.

١١- يتم الكشف على دورة تبريد الفرن فى المستويات المختلفة، وتحديد أى عطب بها لإصلاحه.

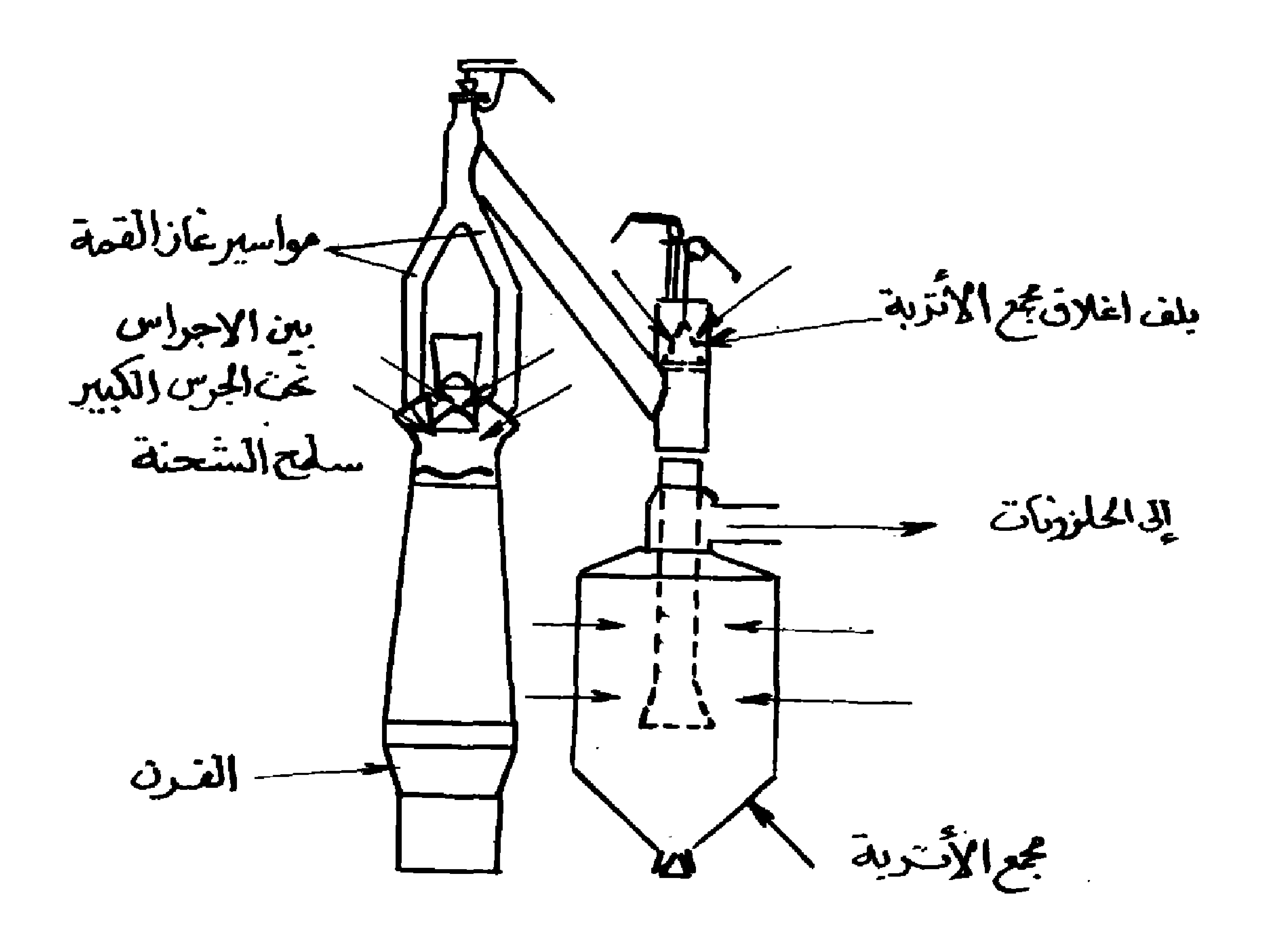
١٢- بعد التوقف بحوالى ساعتين من توقف الفرن، تخفض كمية مياه التبريد الخارجى لجسم الفرن، وكذا للودنات والمبردات.

١٣- لا يسمح بتشغيل مجموعات الصيانة، إلا بعد التوقف التام الهادىء السليم للفرن، وتصريح مسئول الأمن الصناعى بذلك.

٧ - إشعال الغاز أعلى الفرن:

تحاشيا لحدوث الانفجارات، أو تسمم العاملين بسبب استنشاق الغاز عند إجراء صيانات بأجهزة الشحن أو بقمة الفرن، يلجأ العاملون إلى إشعال الغاز أعلى الشحنة. ويجرى ذلك بإلقاء بعض الخشب الجاف، أو الخرق المبللة بالشحومات والزيت والمازوت بداخل الفرن، فى الحيز الذى يعلو الشحنة. ولهذا تخفض كمية النفخ إلى أقل كمية ممكنة، ثم تفتح بوابتان من بوابات الانفجار أعلى الفرن. تلك التى تواجه هبوط الريح وتلك العمودية عليه. وتلقى الخرق المبللة بالشحم والأخشاب الجافة من الباب الأول، حتى يبدأ الغاز فى الاشتعال على سطح الشحنة.

ويجب اتخاذ الحذر الشديد، عند القيام بهذا العمل، لأنه كثيرا ما يصاحبه العديد من



شكل رقم ٤٢ - يبين أماكن فتح البخار عند توقف الفرن
منعاً لحدوث انفجارات

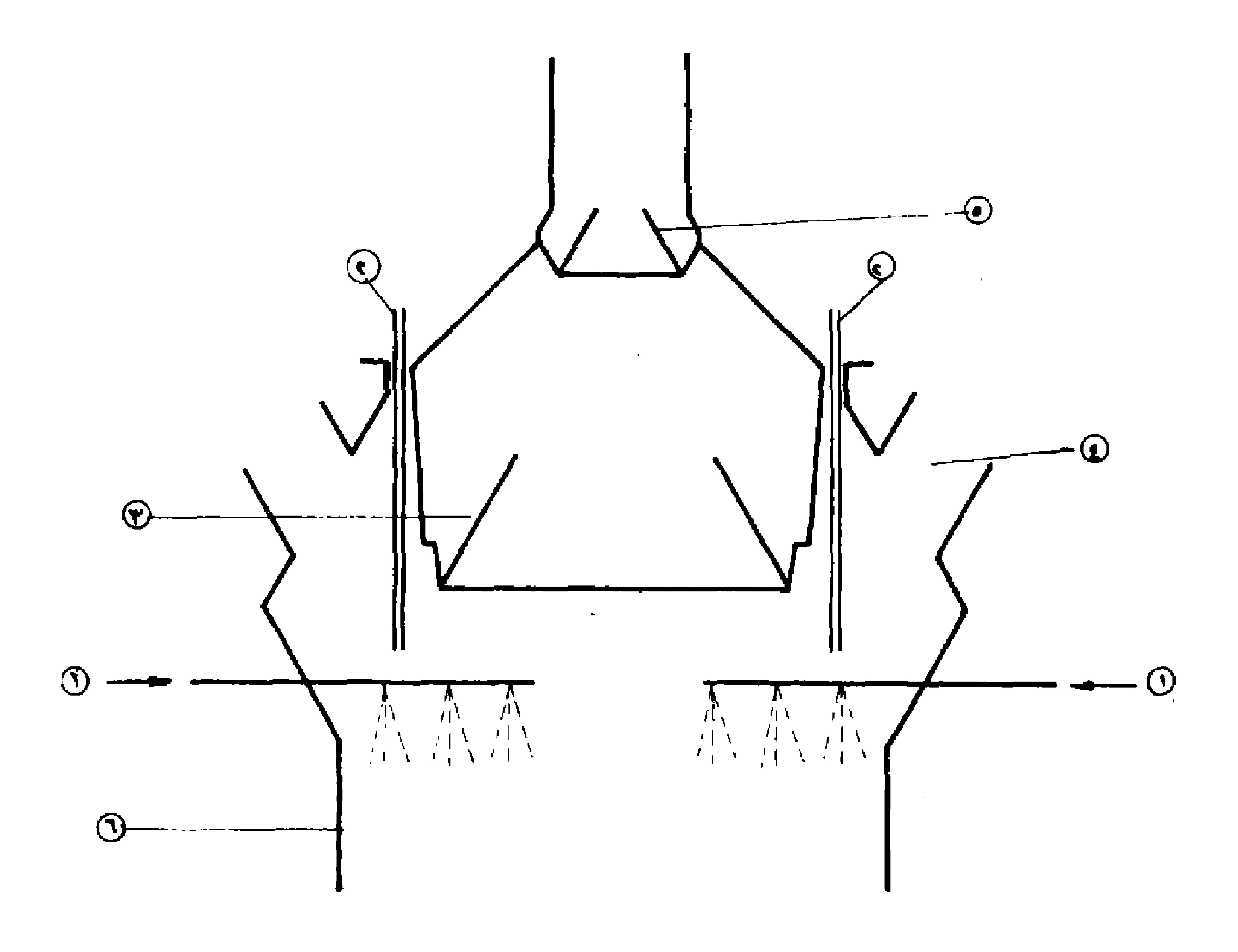
الانفجارات ، أو يصاحبه خروج اللهب من بوابات الانفجار ليصيب من يواجهه . ولهذا ، يقف المشتغلون بإشعال الغاز فى وضع منحرف عن مواجهة البوابات ، فى اتجاه مضاد لاتجاه هبوط الرياح ، وبالتالى اتجاه الغازات الناتجة . وعندما يطمئن العاملون إلى اشتعال الغاز بصفة مستمرة ، يتوقف النفخ تماما وتراقب الشعلة أعلى الشحنة ، وكيفية توزيعها على سطح الخامات . كما تراقب درجة حرارة الغاز أعلى الفرن ، حتى لا ترتفع هذه الى درجة عالية ، فتسبب أضراراً بأجهزة الشحن ، أو بأعلى القمة .

ويلاحظ فى هذا النوع من توقفات الأفران ، عدم المساس بتكوين الشحنة الأصلى ، خلافا لإضافات قليلة من الكوك ، مع الامتناع عن شحن الإضافات الحديدية . ونادرا ما تخفض القاعدية ، ولكن مكونات الشحنة تظل كما هى ، وكذلك يظل مستوى الشحنة عند المستوى المحدد للتشغيل ، أو بمعنى آخر ، أن يكون الفرن مملوءا بشحنة أقرب ما تكون إلى الشحنة الأصلية . ويتبع هذا النوع من التوقف ، فى حالة تغير أجهزة الشحن أو إصلاح عطب يستغرق وقتا لا يتعدى ثلاثة أيام .

وبعد توقف النفخ تماما ، والاطمئنان إلى تناسق الشعلة أعلى الشحنة ، يبدأ فى إغلاق فتحات نفخ الهواء بالماصة ، وأحيانا تزال الودنات وودنات الخبث ويغلق مكانها بالماصة ، وذلك لمنع سحب الهواء من خلالها ، وخلال الشحنة إلى أعلى الفرن ، وبالتالى حرق الكوك الموجود بالشحنة ، وزيادة الجزء المنصهر من الخامات ، مما يسبب المتاعب عند إعادة التشغيل .

أما إذا زادت فترة التوقف عن ذلك ، ولمدد محدودة (أقصاها شهر) ، عند عدم الرغبة فى الإنتاج لظروف أو لأخرى ، فيتم شحن الفرن بشحنة خفيفة ، وهى عبارة عن شحنة تحتوى الكوك بنسبة أعلى من المفروض ، وذات قاعدية منخفضة (٠,٦ إلى ٠,٨) .

وفى حالة ما إذا زاد زمن التوقف عن ذلك ، فيوقف الفرن باستخدام « شحنة عمياء » ، وهى عبارة عن كوك وما يلزمه من حجر جيرى فقط ، ويوقف الفرن ممتلئا بمثل هذه الشحنة . كما يمكن فى هذه الحالات ، أن يستمر تشغيل الفرن بشحنته الأصلية ، مضافا بأعلاها بضع شحنات من الكوك فقط ، ويتوقف شحن أية مشحونات مع استمرار النفخ ، حتى ينخفض مستوى الشحنة بالفرن إلى أعلى بقليل من مستوى الودنات . وفى هذه الحالة ، يجب اتخاذ كافة الإجراءات للتغلب على ارتفاع درجة حرارة الغازات الصاعدة ، باستخدام البخار أو رذاذ الماء الشكل (٤٣) . وتسمى هذه الطريقة «طريقة النفخ العميق



الشكل ٤٣- أماكن وضع أدشاس تبريد شحنة الفرن

للفرن » . وقد يغطى سطح الشحنة حينئذ بطبقة من الحجر الجيرى ، تسبب زيادة نسبة غاز ثان أكسيد الكربون بالغازات المتولدة والصاعدة ، وبالتالى تقلل من احتمالات الانفجارات أو الاشتعال . هذا ، بالإضافة الى أن تحلل الحجر الجيرى يحتاج إلى كميات كبيرة من الحرارة ، مما يخفض من درجة حرارة هذه الغازات . وقد تضاف طبقة من الخبث المحبب ، فتعمل كعازل بين الشحنة والمحيط الذى يعلوها ، وبالتالى تعمل على الإقلال من الاتصال المباشر بينهما .

كما تستخدم طريقة النفخ العميق هذه ، عند الرغبة فى إجراء تجديد للطوب الحرارى للمخروط العلوى بالفرن ، أو عند الرغبة فى التخلص من بعض الرواسب التى تجمعت على جدران الفرن فى المناطق العليا منه .

ونظرا لأن عملية إضافة رذاذ الماء للتبريد ، يلازمها خطر حدوث انفجار ، إذا ما وجد الماء سبيلا إلى المناطق المرتفعة الحرارة بالفرن ، لهذا يراقب ضغط بخار الماء أعلى الفرن ، حتى لا يتعدى قيمة معينة . كما يضاف بعض الكوك الناعم الرطب ، ليملأ الفجوات بين المشحونات ، ويساعد على زيادة نسبة بخار الماء فى المحيط أعلى سطح الشحنة ، مقللا بذلك احتمالات حدوث الانفجار .

وقد يحدث أحيانا ، عند الرغبة فى توقف الأفران ، مع الرغبة فى الإقلال من المخاطر ، أن يلجأ فى حالة العمرات الشاملة ، وكما يحدث بالفرن العالى رقم (١) بمصنع الحديد والصلب بجمهورية مصر العربية سنة ١٩٦٤ إلى توقف مملوء بشحنة من الكوك ، المبلل بالماء ليحفظ درجة حرارة الغازات الصاعدة أقل من ٤٠٠ إلى ٥٠٠°م .

وفى الحقيقة ، لا يمكن تفضيل إحدى الطرق عن الأخرى بالتحديد ، ولكن تتوقف الطريقة المستخدمة إلى حد بعيد ، على تفضيل وخبرة العاملين بالمصانع المختلفة .

٨ ـ سحب الحديد المتجمع أسفل بودقة الصهر :

مع استمرار تشغيل الفرن ـ وكما ذكر من قبل ـ يتجمع بأسفل الفرن كميات من المعدن المنصهر ـ نتيجة تآكل بطانة قاع بودقة الصهر ـ هذا بالإضافة إلى معدن الرصاص إن وجد أصلا بالمشحونات ، مكونة كمية كبيرة لا يستهان بها من المعدن . وعليه فعند إجراء العمرات الشاملة بالأفران ، يجب التخلص من هذه الكمية قبل البدء فى تبريد شحنة التوقف بالماء ، حتى لا يتجمد المعدن بهذه المنطقة . ويتسبب فى مشاكل خطيرة للتخلص منه . لهذا تفتح فتحة جانبية فى الجهة المقابلة لفتحة الحديد أو عموديا عليها ، وفى مستوى

منخفض عن مستواها ، وذلك باستخدام لهب الأوكسيچين ، لتنساب منها هذه الكمية من المعدن إلى صالة الصب الاحتياطية بجوار الفرن ، أو تنقل عن طريق مجارى خاصة ، إلى بوادق توضع خصيصا لا ستقبالها . وقد بلغت هذه الكمية فى بعض الأفران أكثر من ١٠٠٠ طن .

ويمكن تحديد مستوى الفتحة هذه واتجاهها ـ بصورة تقريبية ـ من خلال قراءات درجة حرارة مبانى القاعدة ، وقد ينجم نتيجة عدم سحب الكمية كلها وتجمدها عند تبريد شحنة التوقف ، كتل ضخمة الشكل ، تحتاج إلى مجهود كبير فى إزالتها أو تفجيرها . كما حدث بالفرن الأول بمصانع الحديد والصلب . وحديثا يتم سحب هذا المعدن قبل توقف الفرن نهائيا . وتعتبر هذه آخر صبات الفرن بتوقف بعدها ، ليبدأ تبريد شحنة التوقف ، بإضافة الماء خلال الأدشاش التى تم تركيبها بأعلى الفرن . وتجرى عملية التبريد فى بدايتها ، بكمية محدودة من الماء ، تزاد تدريجيا بمرور الزمن . ويخرج البخار من فتحة الهواية أعلى الفرن . ويجب الاهتمام التام فى هذه المرحلة ، بمراقبة حرارة الغازات أعلى الفرن ، مع تحاشى تسلل الماء إلى المناطق مرتفعة الحرارة ، ويجرى ذلك بمراقبة ضغط البخار أعلى الفرن . وهكذا ، وبالاستمرار فى إضافة الماء ، تبرد طبقات الشحنة الواحدة تلو الأخرى ، ويستمر ذلك حتى يبدأ الماء فى الظهور من الودنات ثم من فتحة الحديد . ويكون ذلك دليلا على إتمام عملية تبريد شحنة التوقف . وفى العادة ، يترك الماء ينساب لفترة أربع ساعات بعد ذلك احتياطيا .

وعندئذ يبدأ فى رفع جلب نفخ الهواء ومبرداتها ، ويبدأ فى سحب شحنة الفرن لتفريغه نهائيا ، تمهيدا لإعادة تبطينه . ولهذا تفتح بصاج الفرن عند فتحة الحديد ، فتحة تعمل من خلالها معدات نقل « اللودرات » لتفريغ المشحونات بسرعة .

وبفراغ الفرن من الشحنة الواقعة أعلى مستوى فتحة الحديد ، تفتح فتحة أخرى فى مستوى منخفض بجدار الفرن فى الجهة المقابلة لموضع فتحة الخبث ، يبدأ منها فى تفريغ بقايا المشحونات ، ثم ناتج هدم بطانة قاع الفرن والطوب الحرارى وبقايا المعدن . وتزال كل طبقات الطوب الحرارى بالقاع ، حتى الوصول إلى الطوب السليم تماما . كما تستخدم هذه الفتحة فى إزالة مخلفات البطانة بأجزاء الفرن الأخرى . وبإتمام هدم وإزالة البطانة جميعها ، تغلق الفتحة تماما باللحام من الداخل والخارج ، ويبدأ فى تبطين الفرن بالبطانة الجديدة .

ليبدأ الفرن بعدها رحلة جديدة يتكرر بها كل ما ذكر مسبقا ، وحتى نهايتها ، وهكذا .

مراقبة تشغيل الأفران عن طريق الحديد والخبث الناتجين :

تتضافر جهود وخبرات العاملين بالأفران العالية ، مع قراءات ودلالات وتسجيلات أجهزة القياس والتحكم التى سبق الحديث عنها ، فى تسيير دفة العمل . وهما رغم أهميتها القصوى ، لا يعادلان ما يمكن الحصول عليه من مؤشرات عن طريق مراقبة الحديد والخبث الناتجين ،وذلك أنهما يمثلان نهاية العمليات والتفاعلات التى تمت بالفرن .

وفيما يلى استعراض سريع لمدى إمكانية مراقبة تشغيل الأفران عن طريق هذين المنتجين ، بالإضافة إلى بعض المشاهدات الأخرى .

(أ) مراقبة عمليات الفرن عن طريق الخبث الناتج :

بالمراقبة الدائمة المتعاقبة لحالة الخبث الذى يتم الحصول عليه ، سواء من فتحة الخبث العليا ، أو مع صبات الفرن ، يمكن الحكم على حالة التشغيل ، وما ينتظر حدوثه خلال الساعات القادمة . ولهذا تؤخذ دواما ، فى أثناء الصبات وعن طريق العاملين ، عينات **باستخدام « قضيب العينة » المثنى بشكل زاوية قائمة ، أنظر الشكل (٤٠) . ويعطى قوام وشكل الخبث على قضيب العينة ، العين الخبيرة ، وسيلة للحكم عن حالة الفرن ، ودرجة الحرارة السائدة بمناطقه ، وقاعدية الخبث ، وهل الخبث قاعدى ويسمى « خبث قصير » وهو الذى ترفع فيه نسبة الجير والماغنيسيا عن نسبة المكونات الحمضية وهى السيليكا والألومينا ، أهو « خبث حامضى » ، وهو ما يحوى معكوس هذه النسب ويسمى « الخبث الطويل » .**

والخبث الحامضى ينساب بسهولة فى مجاريه دواما ، حتى لو كانت درجة حرارته منخفضة . وعند غمس قضيب أخذ العينة فى مثل هذا الخبث وتركه ليبرد ، يوجد الخبث متماسكا بشكل أملس على السطح ، وكثيرا ما تنساب منه شعيرات طويلة دقيقة ، تزداد عددا وطولا بازدياد نسبة السيليكا فى الخبث . ولهذا الخبث قوام زجاجى ، ويتلون تبعا لدرجة حرارته ، بألوان تتراوح ما بين البنى الفاتح ، والأخضر والرصاصى الفاتح ، والبنى الغامق ، والأسود ، كلما انخفضت درجة حرارته . وعليه فلو كان سطح العينة لامعا داكن اللون ، ولا تخرج منه هذا الشعيرات الدقيقة ، قيل إن قاعدية الخبث ملائمة ، أما درجة حرارته فأقل من المطلوب . وكذا إذا كانت عينة الخبث على القضيب بها فجوات صغيرة ولونها فاتحا ، قيل إن قاعدية الخبث ملائمة ، وكذا درجة حرارة الفرن .

وهكذا يمكن بالربط بين المشاهدات وتحليلهـا ، الحكم على حـالة الفـرن ، وظـروف التشغيل ، ونوعية المعـدن المنتظر الحصـول عليه . ويمكن رفع درجـة حـرارة الخبث ، برفع درجة حرارة الهواء اللافح ، أو بإضـافة وقود فى حـالات البرودة الشـديدة . كما تدل برودة الخبث المفاجئة على احتمال حـدوث عطب ببعض معـدات التبريد المستخدمة بالفـرن ، مثل مبردات ودنات النفـخ ، أو مبردات جلب الخبث ، أو الجلب ذاتهـا ، حيث أن كمية الحـرارة اللازمة لتحلل الماء فى هذه الحالة تكون كبيرة ، بحيث أن الحـرارة الفـائضة فى بودقة صـهر الفرن ، تصبح غير كافية ، لمجابهة احتياجات الخبث لرفع حرارته .

أما الخبث القاعدى أو المسمى بالخبث القصير ، فيكون حثيث السير فى مجاريه ، خـاصة فى حالة برودته ، فيتجمد بسرعة ، ويتراكم بها ، مسـببا الكثير من المضـايقات والحـوادث . ويظهر هذا الخبث بشكل غليظ غير لامع ومتراكم ، على قضـيب العينة . وفى هذه الحـالة ، يصعب إزالته من فوق القضيب ، ومقطعه فى هذه الحالة يحوى بلورات كبيرة .

ويتدرج لون هذا النوع من الخبث من اللون الأصـفر الفـاتح ، إلى الغـامق ، إلى اللون الأسود ، كلما انخفضت درجة حـرارته . وفى خـلال سريان الخبث القـاعدى ذى الحـرارة المرتفعة ، يكون فورا ، مصحوبا برائحة خانقة تسبب الكحة - غاز ثانى أكسيد الكبريت - كما يظهر على سطح الخبث لهب أبيض .

وبالإضـافة إلى إمكانية الحكم من خـلال نوع ولون وكيفية سريان الخبث بالمجـارى على ظروف التشغيل ، فإن كمية الخبث المنتج أيضا مقارنا بالمفروض حسـابيا الحصـول عليه مع كل صبة ، تعطى العاملين فرص الحكم على مدى فراغ الفرن خـلال الصـبة ، وعن المنتظر فى الصبات التالية .

ويعطى الخبث الناتج من فتحة الخبث ، مقياسا لمستوى الحديد بالفرن ، فإذا لازم خروج الخبث ، خروج شرارات دالة على وجود المعدن به ، دل ذلك على ارتفـاع مسـتوى المعـدن ببودقة الصهر ، وضرورة اتخاذ اللازم لصـب الفـرن مباشرة . وفى هذة الحـالة يجـب إغلاق فتحـة الخبث مباشرة . ويقـال أحيانا إن الخبث « غير نقى » ، وذلك عند ملاحـظة أن الخبث الناتج - وعادة من فتحة الخبث العليا - يحوى نسـبة من المعـدن تظهـر أولا فى صـورة شرارات متناثرة عند فتحة الخبث ، ثم تظهـر على سـيخ الصـبة فى شكل حبيبات سـوداء اللون متناثرة فى الخبث ، هى فى الواقع أكسيد الحـديدوز ، ويكون لون الخبث فى هذه الحـالة داكنا يتدرج إلى اللون الأسود ، بزيادة الأكسيد به . ويدل كل ذلك على عدم كفاءة الحرارة

ببودقة الصهر . وإذا حدث ذلك فجأة ، وبدون مقدمات ، دل ذلك على حدوث عطب مفاجىء بإحدى المبردات ، وبالتالى تسرب الماء إلى الفرن ، وضرورة اتخاذ التدابير اللازمة لتغير الجزء المعطوب وبسرعة .

وعموما يذكر العاملون بالأفران فى بلاد العالم أجمع ، مثلهم الذى يقول ما معناه ، « إن على العاملين بالأفران ، العناية بالخبث وتكوينه ومواصفاته ، الخ . حيث أن الحديد سوف يعنى بنفسه ، ولن يحتاج إلى عنايتهم حينئذ » .

(ب) مراقبة الفرن عن طريق الحديد الناتج :

تعتمد نسب وجود السيليكون ، والمنجنيز ، والكبريت فى الحديد الزهر ، إلى حد كبير على درجة الحرارة بالفرن ، وكذا على خواص الخبث المنتج . هذا بالإضافة إلى نسب وجودها فى الشحنة الأصلية للفرن . وعليه ، فبمتابعة تحليل الحديد الزهر المنتج ، يمكن الحكم على حالة الفرن عامة ، ودرجة الحرارة بصفة خاصة . وكذا الحكم على مدى مطابقة الخبث وخواصه . فمثلا ، إذا ظهر بمقطع عينة من حديد توماس ، سطح فضى اللون ، يحوى نقاطا لامعة متناسقة التوزيع ، كان ذلك دليلا على أن درجة حرارة وقاعدية الخبث ملائمان تماما لمتطلبات التشغيل . وإذا كان سطح العينة الملامس لسطح قالب العينة أملسا غير حاو لأى نتوءات به ، كان ذلك دليلا على انخفاض نسبة الكبريت فى المعدن ، وبالتالى مناسبة قاعدية الخبث . أما إذا ظهرت بمقطع العينة زيادة فى الأسطح اللامعة ، وعدم تناسق فى توزيعها ، كان ذلك دليلا على زيادة نسبة المنجنيز فى المعدن ، وبالتالى ارتفاع درجة حرارة الفرن ، وقاعدية الخبث عن المطلوب ، الأمر الذى يساعد على سرعة اختزال أكاسيد المنجنيز ، وعلى زيادة ذوبان المنجنيز فى المعدن .

أما إذا ظهرت بمقطع العينة نقاط رمادية اللون ، أو سوداء ، تغطى على المقطع كله ، كان ذلك دليلا على ارتفاع كبير فى درجة الحرارة ، أو انخفاض قاعدية الخبث المستعمل . ذلك أن هذا المقطع الرمادى الأسود اللون ، دليل على زيادة نسبة السيليكون بالمعدن ، والذى تزداد نسبته تحت الظروف المذكورة . وبذوبان هذا السيليكون فى الحديد ، وعند تبريد العينة فى قالبها ، يتسبب السيليكون فى انفصال كربون الحديد الزهر على هيئة جرافيت ، يتسبب فى إعطاء المعدن هذا اللون الأسود أو الرمادى . وعليه فباستخدام قاعدية مناسبة للخبث ، وبرفع درجة الحرارة بالفرن ، وبزيادة كمية الكوك المخصصة للتسخين ، يمكن الحصول على الفيروسليكون أو الحديد المصبوب ، اللذين يحويان نسبا عالية من السيليكون .

وإذا ظهرت على سطح العينة الملامس للقالب نتوءات أو فجوات ، كان ذلك دليلا على ارتفاع نسبة الكبريت بالمعدن ، ذلك أن الكبريت عند وجوده بنسبة عالية بالحديد ، يتحول جزء منه إلى الحالة الغازية ، مكونا فقاعات على سطح تلامس العينة والقالب ، وهذه تتفتح خلال فترة التبرد ، مكونة هذه النتوءات أو الفجوات . وتعتبر زيادة الكبريت عادة ، مقياسا لعدم مناسبة قاعدية الخبث المستخدم ، أو لانخفاض درجة حرارة الفرن .

أما إذا كان مقطع العينة مطفيا دون أى لمعان فيه ، كان ذلك دليلا على انخفاض كبير بدرجة حرارة الفرن ، مما يستدعى سرعة اتخاذ إجراءات التغلب على هذه الحالة من إضافة للكوك ، أو رفع لدرجة حرارة الهواء اللافح ، أو خفض لمعدل النفخ ، الخ .

وتؤخذ عينة الحديد بواسطة ملعقة خاصة من الصلب أو الحديد الهياتيتى ، انظر الشكل ٨١ ، وذلك بغمس طرفها فى المعدن المناسب فى المجارى لتمتلىء به ، ثم تصب فى قالب العينة المصنوع من الحديد الزهر أو الصلب ، حيث تترك لتبرد . ولما كانت تحاليل المعدن تختلف من صبة لأخرى ، بل وفى خلال الصبة الواحدة ، لذا تجمع العينات جميعها ، ليختار منها ملاحظ الفرن العينة الممثلة التى ترسل للتحليل الكيميائى .

وهو فى خلال تتبعه للعينات المأخوذة ، يتمكن من الحكم على حالة الفرن عامة ، ويقارن بين أول الصبة ونهايتها ، وبالتالى تتاح له فرصة للحكم الدقيق ، وبخبرته يمكنه اتخاذ اللازم من إجراءات ، للمحافظة على جودة المعدن ومطابقته للمواصفات المطلوبة .

ومما يتقدم يتضح مدى ما تقدمه عينات الخبث والحديد من إمكانيات للحكم على جودة المعدن الناتج أولا ، وعلى حالة الفرن ثانيا .

(ج) مراقبة الفرن عن طريق بعض المشاهدات الأخرى :

مما هو جدير بالذكر ، أن كل ماذكر آنفا ، ليس هو الطريق الوحيد للتعرف على حالة الفرن ، فهنالك العديد من أجهزة القياس وشواهد التشغيل ، التى ذكر بعضها من قبل ، ونتعرض للباقى فى الحديث القادم وهى تسهم فى إعطاء الصورة الواضحة وتكمل مستلزمات الرقابة . من هذه الشواهد مثلا ، مراقبة سير المعدن فى المجارى ، فإذا كان سطح المعدن فى مجاريه مطفيا مصحوبا بتناثر ذرات لامعة ، كان ذلك دليلا على انخفاض درجة حرارة المعدن والفرن ، مما أدى إلى انخفاض نسبة السيليكون بالمعدن ، وفى هذه الحالة ، تتكون على سطح المجارى بقايا من المعدن ، ويكون سيره فى المجارى بطيئا ، ويسحب معه رمل المسابك المبطن للمجارى ، وعند نهاية الصبة تتخلف كريات كبيرة من الحديد بالمجارى يطلق عليها اسم

« تماسيح » . أما إذا قلت الذرات اللامعة المتناثرة ، كان ذلك دليلا على ملائمة درجة حرارة الفرن ، وارتفاع درجة حرارة المعدن ، وبالتالى تختفى كل الظواهر المذكورة آنفا ، وتتخلف بالمجارى فى نهاية الصبة ، كميات محدودة من التماسيح .

ويتيح لون اللهب الخارج من فتحة الحديد عند نهاية الصبات ، فرصة للعاملين بالأفران للحكم على درجة حرارة الفرن . فإذا كان لون اللهب داكنا مصحوبا بدخان كثيف ، كان ذلك دليلا على انخفاض درجة حرارة بودقة الصهر . أما إذا كان لون اللهب فاتحا ومصحوبا بقليل من الدخان الفاتح ، كان ذلك دليلا على ملائمة درجة الحرارة بالفرن .

متاعب التشغيل بالأفران العالية

يتعرض تشغيل الأفران العالية ، للعديد من المتاعب التى تتفاوت فى مدى تأثيرها الضار على رتابة وانتظام التشغيل ، والتى تؤدى الى توقف العمل بالفرن نهائيا . ونظرا لطبيعة عمليات الأفران العالية ، بالإضافة إلى اختلاف طبيعة الفرد ، ومدى تجاوبه وظروف التشغيل المحيطة ، فإن هذه المتاعب تتعدد وتتباين ، ويطول الحديث عنها . ولهذا فسنقتصر العرض فيما هو آت ، على تلك المتاعب ذات الأثر الأكبر خطورة على سلامة التشغيل ، وعلى المعدات .

١ ـ برودة الفرن عامة ـ تجمد محتويات بودقة الصهر :

تتعدد وتختلف الأسباب التى تسبب هذه الظاهرة ، والتى تتأتى من اختلال الميزان الحرارى بالفرن ، بمعنى عدم توافر كميات الحرارة المقابلة لاحتياجات مجموعة التفاعلات التى تتم بها . وبالتالى توصف هذه المسببات ، بأنها أى مؤثر يؤدى إلى عدم توفير الحرارة اللازمة لإتمام هذه التفاعلات ، وصهر المنتجات ، وجعلها فى حالة السيولة التى تمكن من إخراجها من فتحات الحديد أو الخبث . وعليه يتضح أن مدى تعرض الأفران صغيرة الحجم ذات الكمية المحدودة من الطاقة الحرارية المختزنة لهذا النوع من متاعب التشغيل ، أكثر من مدى تعرض الأفران الكبيرة ذات الطاقات الهائلة من الحرارة المختزلة .

وهناك العديد من المشاهدات التى يمكن بها التعرف على مثل هذا النوع من متاعب التشغيل ، والتى يمكن تلخيصها كالآتى :

(أ) بمراقبة الفرن من خلال نظارات الودنات ، يلاحظ أن المنطقة عند نهاية الودنة ، تفقد لمعانها الصافي الوضاء ، الذي يتحول إلى لون معتم يتخلله سقوط أجسام داكنة ظلزجة ، تتراكم على مقدمة الودنة ، وتغلف محيطها الخارجي ، وربما ينساب قليل من الخبث من فتحة الودنة الى ماسورة النفخ .

(ب) عند فتحة الخبث ، يخرج الخبث ثقيلا في حركته ، داكن اللون ، تتطاير منه أجسام لامعة ، دلالة علي وجود الحديد به بكمية أكبر من المعدل . ويكون ذلك اللون الرمادي الداكن ، وأحيانا الأسود ، دليلا على زيادة نسبة أكسيد الحديدوز الذي لم يتم اختزاله ، لعدم توافر الحرارة اللازمة ، وحينئذ يجب فتح فتحة الحديد مباشرة لصب ما ببودقة الصهر من الخبث والمعدن قبل استفحال الأمر .

(ج) يلاحظ أن الحديد الخارج من الصبة ، يسير بصعوبة في المجارى الخاصة به ، كما يتجمد بسرعة على جوانبها ، ذلك أن تزايد كمية أكسيد الحديدوز ، يؤدى إلى انخفاض نسبة الكربون والسيليكون والمنجنيز بالحديد نتيجة التفاعل بينهما ، التي تؤدى إلى زيادة نسبة نقاء المعدن ، وبالتالي ارتفاع درجة انصهاره وزيادة نسبة الكبريت به .

(د) يتزايد عدد الشحنات لفترة زمنية معينة عن المعدل العادى .

(هـ) ينخفض ضغط الغاز وضغط الهواء اللافح عن معدلها . وإذا استعرضنا الأسباب التي تؤدى إلى ذلك ، فيمكن تحديدها فيما يلي :

(أ) سوء توزيع المشحونات على مقطع الفرن لسبب أو لآخر ، مثل خلل بمعدات الشحن ، أو عدم تجانس الشحنات ، الخ .

(ب) إضافة شحنات من الخامات دون إضافة الكوك المقابل لها ، بسبب أخطاء العاملين بالشحن .

(ج) إضافة الشحنات بسرعة .

(د) انخفاض جودة الكوك وخواصه ، أو اختلاف خواص أو تحاليل الأضافات .

(هـ) سقوط رواسب سبق تكوينها .

(و) انخفاض درجة حرارة الهواء اللافح عن المعدل ولفترة طويلة .

(ز) تسرب المياه لداخل الفرن من معدات التبريد .

وفي حالات البرودة الطارئة ، يمكن بزيادة درجة حرارة الهواء اللافح ، مع خفض معدل

النفخ ، معالجة هذا النقص الطارىء ، وإعادة الفرن إلى التشغيل العادى .

أما إذا تفاقم الموقف ، ولم تجد وسائل العلاج السريع ، بحيث تماسك المعدن والخبث الموجودان ببودقة الصهر ، ولم يتمكن من الحصول عليها من فتحة الحديد ، فهذا ما يسمى بظاهرة « تجمد بودقة الصهر » ، وهى من أخطر مشاكل الأفران العالية وأصعبها ، وقد تؤدى الى توقف الفرن تماما عن العمل ، إذ يستتبع عدم إمكانية الحصول على الخبث والمعدن من الفرن عندئذ ، ارتفاع مستواهما بداخله ، حتى يبلغا مستوى الودنات ، ويغلقا مداخل الهواء اللافح ، وبالتالى يتوقف الفرن نهائيا عن التشغيل .

ويتلخص علاج هذا الموقف ، فى البحث عن وسيلة لرفع الطاقة الحرارية ببودقة الصهر ، وذلك عن طريق توصيل شحنات إضافية من الكوك للمنطقة . هذا بالإضافة إلى ضرورة تخفيض الحمل الحرارى ببودقة الصهر ، وذلك بزيادة سيولة الخبث ، وبالتالى الإقلال من الحرارة اللازمة لذلك . ويتبع لتحقيق ذلك العديد من الطرق حسب الخبرات الخاصة ، ومنها الأسلوب الذى أتبع بمصانع الحديد والصلب بحلوان ، والذى يتلخص فيا يلى :

(أ) التعرف تماما على سبب العطب ، والقضاء عليه تماما ، وخاصة فى حالة عطب المردات ، ثم التأكد من سلامة كل معدات التبريد الأخرى .

(ب) خلع الودنتين على جانبى فتحة الحديد وتنظيفهما ، ورفع كل الخبث والحديد من أمامهما ، لعمل اتصال صناعى بينهما وبين فتحة الحديد .

(ج) العمل من خلال فتحة الحديد ، على إزالة ما أمامها من الخبث والمعدن المتجمدين ، وإزالة ما يتم صهره بالاوكسيجين من خلال الودنتين المذكورتين ، والمساعدة فى خلق الاتصال بين الودنتين وفتحة الحديد .

(د) إعادة تشغيل الفرن ، بعد التأكد من وجود الاتصال بين الودنتين المذكورتين وبين فتحة الحديد ، بكمية محدودة من الهواء اللافح خلال الودنتين ، مع استمرار مراقبتهما ، وتنظيفهما ، ، مما يستدعى عادة التشغيل والتوقف لمرات عديدة ، حتى يتم التخلص مما يعلوهما من الخبث والمعدن المتجمدين .

(هـ) مع بدء التشغيل ، تضاف كميات إضافية من الكوك بأعلى الفرن ، كما تضاف كميات أخرى قبل التشغيل وفى الحيز أمام الودنات التى تم تنظيفها ، كذلك تشحن الإضافات التى تسبب سهولة إسالة الخبث كالفلورسبار والماغنزيا . ويتبع نظام الشحنات الخفيفة ذات القاعدية المنخفضة . ويصبح بعد ذلك من أهم واجبات

العاملين ، توصيل هذا الكوك المضاف من أعلى الفرن ، إلى بودقة الصهر بأسرع ما يكون ، ويساعد تشغيل الفرن خلال الودنتين المذكورتين فى ذلك ، حيث يصبح تشغيل الفرن من جانب واحد منه ، وبالتالى اختصار الحجم العامل ، ومن ثم سرعة الشحنات المضافة من أعلى الفرن ووصولها إلى بودقة الصهر .

(و) يستدعى هذا النوع من التشغيل ، ضرورة إحكام إغلاق باقى الودنات ، وخاصة البعيدة عن فتحة الحديد ، حتى لايتسبب ذلك فى تكوين خبث وحديد فى مكان ليس له اتصال بفتحة الفرن ، وبالتالى زيادة متاعب التشغيل .

(ز) تزاد درجة حرارة الهواء اللافح عن المعدل ، ولكن بحذر شديد ، بحيث لا تتسبب زيادتها فى تعليق الشحنة بداخل الفرن ، وبالتالى إضافة متاعب جديدة للتشغيل ، الأمر الذى يجب تحاشيه فى هذا الوقت .

(ح) يستمر العمل دواما من خلال فتحة الحديد فى إزالة كل ما يتم انصهاره من خبث ومعدن ، طوال عملية النفخ من خلال الودنتين ، ويستمر ذلك حتى يبدأ اللهب فى الخروج منها وبشدة ، فتغلق مؤقتا ليعاد فتحها بعد ساعة على الأكثر ، لسحب ما يتم صهره من المعدن والخبث أولا بأول . وهكذا ، حتى تبدأ كميات الحديد والخبث المنتجين فى التزايد . ثم يبدأ بعد ذلك فى فتح الودنات من على جانبى فتحة الحديد تباعا وبالترتيب ، مع زيادة كمية الهواء تدريجا ، وزيادة القاعدية التى سبق خفضها مع بدء الشحن للشحنات الخاصة للتغلب على الموقف . ويستمر هذا العمل والرقابة الدقيقة حتى عودة الفرن لحالته الطبيعية . ويستغرق هذا العمل بالأفران ذات الحجم ٤٩٩ مترا مكعبا ما بين ٦ و ٩ أيام .

والنفخ بمعدلات منخفضة ، إجراء يلزم اتباعه فى هذه الحالة كضرورة حتمية ، وذلك لأسباب عديدة أهمها :

١ ـ إتاحة الفرصة لتجهيز أفضل للشحنات الهابطة ببطء فى هذه الحالة .

٢ ـ ضمان استمرار المحافظة على درجة الحرارة للهواء اللافح العالية والمطلوبة لفترات زمنية أطول .

٣ ـ إتاحة الوقت للتخلص من مخلفات الصبات السابقة ، والتجهيز للصبة اللاحقة ، قبل أن يصل مستوى المنصهر من المعدن والخبث لمستوى الودنات ويغلقها ـ خاصة وأن الحيز المتاح فى هذه الحالة يكون صغيرا ـ وبالتالى يوقف استمرار النفخ والتشغيل ، وهو

الأمر الحيوى الضرورى استمراره فى هذه المرحلة .

٤ ـ تخفيض الحمل الحرارى لبودقة الصهر ، بالإقلال من تكون أكسيد المعدن أمام الودنات ، والذى يحتاج بعدئذ إلى حرارة عالية ، لإعادة اختزاله اختزالا مباشرا ببودقة الصهر .

وكما سبق ذكره ، تختلف طريقة معالجة العطب باختلاف الخبرات الخاصة والإمكانيات ، وقد يستلزم الأمر إغلاق الودنات جميعها ، ماعدا إحداها ، تستخدم كفتحة للحديد والخبث ، بينما يزود الفرن عندئذ بمجموعة ودنات نفخ ، تركب بمستوى أعلى من مستوى الودنات الأصلى . وبالنفخ من خلالها ، وسحب المنصهر من فتحة الودنة ، يمكن تحقيق الهدف الرئيسى ، وهو توصيل الكوك إلى بودقة الصهر ، وبالتالى زيادة الطاقة الحرارية بها . وبتحقيق ذلك ، يعاد التشغيل بعدئذ من الودنات الأصلية ، وتغلق الودنات الإضافية نهائيا .

(ب) تعليق الشحنة بداخل الفرن :

قد يحدث أحيانا أن يظل مستوى شحنة الفرن ثابتا لفترة زمنية أكثر من المعتاد . دليلا على عدم هبوط الشحنة داخل الفرن ، وتسمى هذه الظاهرة « تعليق شحنة الفرن » . وقد يمكن التغلب على هذه الظاهرة بسهولة وبسرعة ، وقد يستلزم ذلك العديد من الساعات .

وتعليق شحنة الفرن لا يحدث فجأة ، ولكن تسبقه مقدمات ومشاهدات تدل على اتجاه الشحنة إلى التعليق . فمثلا يبدأ هبوط الشحنة فى عدم الانتظام ، ويلازم ذلك انزلاقات للشحنة بداخل الفرن . ويمكن التعرف على ذلك ، بمراقبة حركة المجسات ، هذا بالإضافة إلى حدوث ذبذبة فى ضغط الغاز ، وضغط الهواء اللافح ، الأشكال٥

وحتى هذه المرحلة ، يمكن وبسهولة معالجة الموقف ، وإعادة التشغيل إلى الانتظام ، أما إذا لم ينتبه العاملون إلى ذلك فى حينه ، ولم تتخذ إجراءات التغلب عليه ، فتبدأ الشحنة فى الامتناع عن الهبوط نهائيا . ويلاحظ ثبات مستوى الشحنة بداخل الفرن ، بالإضافة إلى زيادة ضغط الهواء اللافح ، وانخفاض ضغط الغاز ، مع ارتفاع درجة حرارته . وبالنظر خلال منظار الودنات ، يلاحظ ثبات الكوك داخل الفرن ، وامتناع حركته ، كما يمكن مشاهدة بعض قطرات الخبث والمعدن ، تتساقط ببطء على سطح الكوك . وفى حالة تعليق الشحنة ، يسمع بوضوح ، الصوت الناجم عن تهريب الهواء اللافح من توصيلات الكيعان وماسورة النفخ ، وتبدأ كمية الهواء الداخلة إلى الفرن ، والمسجلة بجهاز الكمية ، فى الانخفاض تدريجيا ، كدليل على تعليق الشحنة بداخل الفرن .

وتتعدد المسببات التى تؤدى الى حدوث هذا النوع من متاعب التشغيل ، وقد تتكاثف فيما بينها . ونذكر فيما يلى أهمها :

١ ـ تماسك الشحنات :

تتعرض مشحونات الفرن العالى خلال هبوطها بالفرن ـ كما ذكر من قبل ـ للعديد من التغيرات الفيزيقية والكيميائية ، التى تؤثر فى خواصها الأصلية ، وتؤدى إلى زيادة حجمها وتماسكها فيما بينها . هذا ، بالإضافة إلى زيادة مساميتها ، نتيجة تخلصها من المواد المتطايرة بها ، وبالتالى إتاحة الفرصة لترسيب الكربون ناتج التفاعل

غاز أول أكسيد الكربون ——— غاز ثانى أكسيد الكربون + الكربون

٢ ك ا ——— ك ا٢ + ك

فى هذه المسام ، وما يسببه بالتالى من زيادة لأحجام المشحونات . وحيث أن درجة حرارة هذه المشحونات تتزايد باستمرار هبوطها ، فإن لدانتها تتزايد أيضا ، ومع زيادة أحجامها وضغطها بعضها على بعض ، تتماسك فيما بينها . كما تتماسك المشحونات بنفس الأسلوب مع جدار الفرن ، مكونة جسما صلبا ، يتحمل وزن عامود الشحنة أعلاه ، ويمنع هبوطه ، وبالتالى تتعلق الشحنة بداخل الفرن .

٢ ـ وجود رواسب بالفرن العالى :

تتكون رواسب الفرن لسبب أو لآخر ـ كما سيذكر فيما بعد ـ وهى بوضعها وطبيعة تكوينها ، تكوّن قاعدة يمكن بسهولة ارتكاز شحنة الفرن عليها ، خاصة إذا ما تسببت هذه الرواسب فى الإقلال من قطر مقطع الفرن ، وكونت فتحة قمع تهبط منها الشحنات ، وسببت بذلك زيادة المقاومة لصعود عامود الغازات ، وبالتالى زيادة قدرته على حمل الشحنة ، وبالتالى تعليقها .

٣ ـ خفض مقطع منطقة احتراق الكوك :

ويسبب هذا زيادة المقاومة لهبوط الشحنة ، وبالتالى زيادة الاحتكاك بين المشحونات الهابطة والمشحونات الموجودة بهذا المكان من الفرن . هذا بالإضافة إلى تكدس المشحونات الهابطة ، وانخفاض مساميتها فى المنطقة التى تعلو منطقة احتراق الكوك مباشرة ، الأمر الذى يسبب زيادة المقاومة لعمود الغازات الصاعدة ، وبالتالى زيادة ضغطها وقدرتها على حمل الشحنة ، ومن ثم مقاومة هبوطها . وفى العادة ، تتوقف مسامية الشحنة على مدى تجانس

أحجام مكوناتها ، ولهذا السبب ولغيره ، أصبحت عملية تجنيس المشحونات بالغة الأهمية .

٤ ـ طبيعة الخبث المتكون :

يحدث نتيجة ارتفاع درجة الحرارة بالفرن عامة لسبب أو لآخر ، أو بسبب تركيز استغلال درجة الحرارة ببودقة الصهر بالفرن بسبب زيادة الاختزال المباشر ، أن يتكون بالمخروط العلوى أو بالأسطوانة ، خبث متماسك لزج ـ خاصة فى حالات التشغيل بقاعدية عالية ـ يتماسك وجوانب الفرن ، ويولد مقاومة عالية لمرور الغازات الصاعدة ، وبالتالى يزيد من قدرتها على التحمل ، ومقاومتها لهبوط الشحنة .

كما يحدث أحيانا تكون خبث يحتوى على نسبة عالية من أكسيد الحديد ، ويحدث ذلك نتيجة تجمع كمية من خام الحديد ، تعرضت من قبل إلى اختزال نسبى فقط ، نتيجة لانخفاض مساميتها ، وهبوطها لمنطقة الحرارة العالية (١٠٠٠°م) حيث تنصهر مكونة خبثا يحوى نسبة عالية من أكسيد الحديدوز ، بل وأحيانا أكسيد الحديد المغناطيسى . وعندما يلتق هذا الخبث مع الكوك المتوهج فى المنطقة ، يبدأ كربون الكوك فى اختزال الأكسيد اختزالا مباشرا ، مستهلكا كميات كبيرة من الحرارة ، ومسببا انخفاض درجة حرارة المنطقة ، ويلازم ذلك ، رفع درجة حرارة بدء سيولة الخبث الناتج الذى تخلص جزئيا من أكاسيد المعدن ، وبالتالى يوجد هذا الخبث فى حالة لزجة متماسكة ، معترضا صعود الغازات ، ومسببا تعليق الشحنة .

٥ ـ الخواص الطبيعية والكيميائية للخامات المستخدمة وخاصة الصلابة والتماسك تحت درجات الحرارة العالية

هذا بالإضافة إلى قيمة درجة حرارة بدء انصهارها . ذلك أن تفكك الخامات يسبب مقاومتها للغازات الصاعدة . ويكون ذلك داعيا لتماسكها بعضها ببعض ، فى مناطق الحرارة المنخفضة نسبيا ، وبالتالى تجمعها وصعوبة هبوطها وتعليقها .

٦ ـ مجموعة المؤثرات التى تتجمع وتؤدى إلى ارتفاع منطقة أو مستوى بدء تكوين الخبث . كيفية التغلب على تعليق شحنة الفرن :

مما سبق ذكره ، يتضح أن تعليق شحنة الفرن إنما يحدث نتيجة مجموعة عوامل تتجمع وتسبب زيادة المقاومة لصعود الغازات الصاعدة ، وتعمل على منع هبوط عامود الشحنات . وعليه ، فأى إجراء يؤدى إلى التخفيف ثم القضاء على هذه التجمعات ، يكون من شأنه

المساعدة على التغلب على هذا النوع من المتاعب . ويحوى ذلك عادة عن طريق ما يسمى « سحب الفرن » ، والذى يتلخص فى الإقلال من الغازات الصاعدة ، وبالتالى إقلال قدرتها على التحمل ، والذى يتم بفتح صمام الأمان على ماسورة الهواء الساخن الداخلة إلى الفرن فجأة وبسرعة . وعادة ما يؤدى هذا الإجراء إلى تكسر القشرة المتماسكة المغلقة لسطح الشحنة فى منطقة التعليق ، بسبب زيادة التحميل عليها من أعلى ، نتيجة وزن المشحونات التى تعلو المنطقة ، وبالتالى فك التعليق . ولكى يكون هذا الإجراء فعالا ، يجب أن يتم فجأة وبسرعة ، حتى يؤدى الغرض منه فى خلخلة منطقة التعليق . ولهذا وحتى لا يترتب على هذا الهبوط المفاجىء لكمية الهواء اللافح أضرار بمنطقة المسخنات أو بنفاخات الهواء ، أو بشبكة الغازات ، يتم الاتصال بين ملاحظ الفرن والمسئولين بهذه المناطق ، لتنسيق العمل فيما بينهم . ولا يجب أن تخفض كمية الهواء اللافح عن الكمية المقابلة لضغط يعادل اراجوى ، حتى لا تتاح الفرصة للغازات بداخل الفرن ، للهروب من خلال توصيلات النفخ إلى مواسير الهواء الساخن ، تحاشيا لحدوث أى انفجارات بالأخيرة .

أما إذا لم يؤد هذا الإجراء إلى إزالة التعليق ، فيستمر النفخ مع تخفيض درجة حرارة الهواء اللافح ، وذلك حتى يتغير شكل منطقة الأكسدة أمام الودنات ، حيث أن ذلك يسبب زيادة تركيزها فى الاتجاه الأفقى ، وذلك بسبب ارتفاع مستوى منطقة درجات الحرارة العالية بالفرن إلى أعلى . وبالتالى التمكن من إسالة الخبث الذى يغطى سطح قطع الكوك ويربط بينها ، ويسبب عدم هبوطها .

أما إذا لم تؤد كل المحاولات السابقة إلى النتيجة المطلوبة ، فتفتح فتحة الحديد وفتحة الخبث ، ثم يترك الفرن للنفخ من خلالها ، الأمر الذى يؤدى إلى احتراق الكوك الموجود بالمنطقة ، وبالتالى إفساح المكان للمشحونات الأخرى أعلاها للهبوط . كما يساعد الهواء المنفوخ ، والغازات المتولدة ، فى احتراق الكوك الموجود فى القبة الحاملة لعمود الشحنات . ونتيجة لهذا الاحتراق ، ترتفع درجة الحرارة بالقبة ، الأمر الذى يؤدى إلى سيولة الخبث الذى يسبب تماسكها ، وبالتالى إزالة التعليق . وقد يستغرق النفخ خلال فتحتى الحديد والخبث ساعات طويلة ، حتى يأتى بالنتيجة المطلوبة .

وكثيرا ما يتكرر حدوث التعليق بعد إزالته ، فواجب العاملين بالأفران ، يتطلب منهم حسن التصرف عقب التغلب على المشكلة . فمثلا يجب أن ترفع كمية الهواء اللافح ، أو درجة حرارته إلى معدلها فى التشغيل العادى فجأة . كما يجب أن لا يملأ الفراغ الناجم أعلى

الفرن بشحنات متتالية وبسرعة ، إلخ . ولكن يتم ذلك تدريجيا ، وحسب ما تدل عليه أجهزة القياس والمتابعة للفرن ، عن مدى استعادة الفرن لحالته العادية .

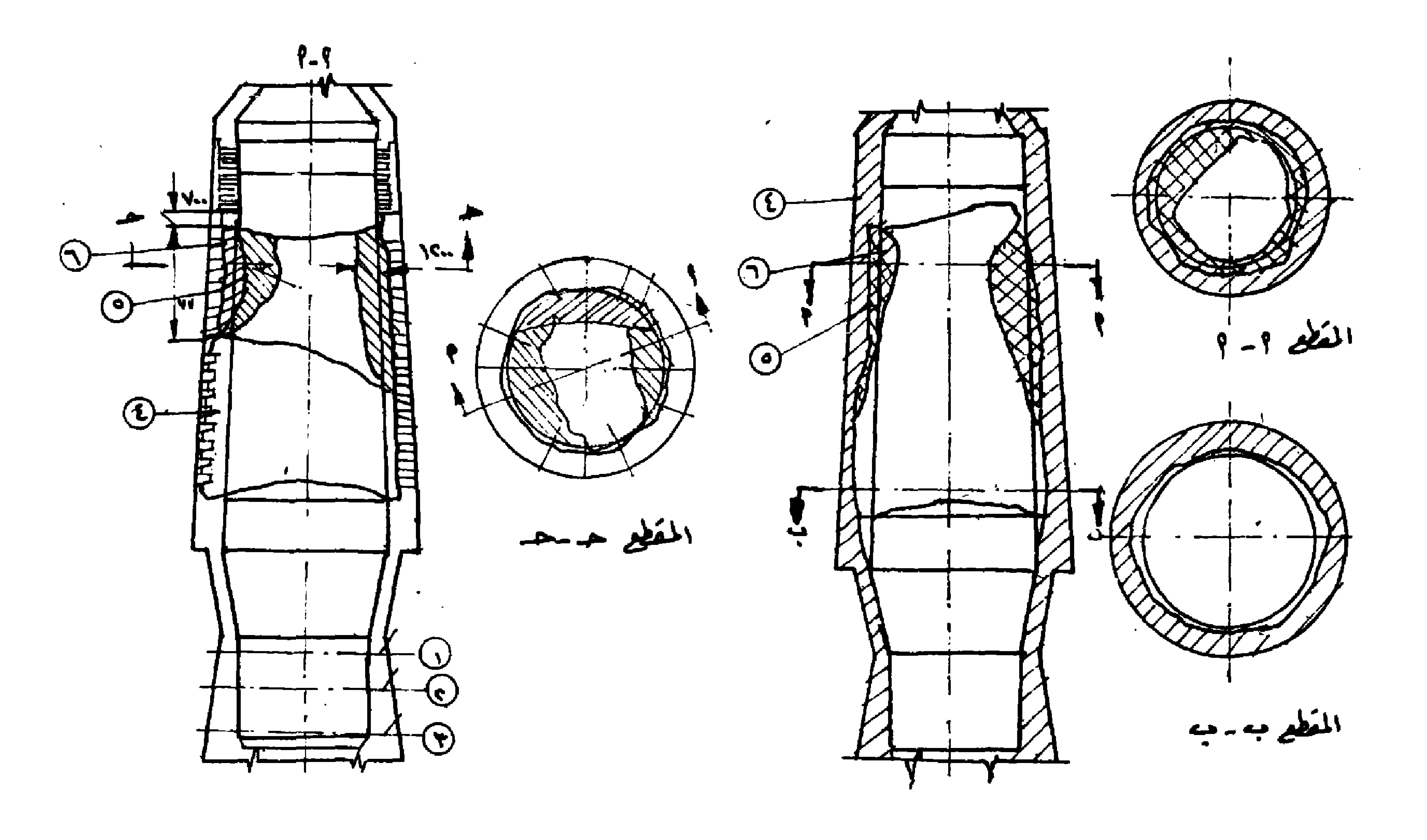
(ج) تكون الرواسب :

يحدث أن تتجمع المواد التى بدأ انصهارها ولم يكتمل تماما بصورة متماسكة وقوية ، على جدران الفرن وبمناطق مختلفة به ، معترضة سير عامود الغازات الصاعد وعامود الشحنات الهابطة ، وتسمى هذه « الرواسب » . وقد توجد بالأسطوانة ، أو بالجزء السفلى ، أو بمنتصف المخروط العلوى ، الشكل (٤٤) ، **وفى هذه الحالة تتماسك بقوة وشدة ، بحيث لا يمكن إزالتها بالتغيير فى تكنولوجية التشغيل فقط .**

وقد يتكون بعض منها بالمخروط السفلى ، وخاصة عندما تحوى الشحنة الأصلية للفرن خامات سهلة الانصهار ، تتمكن من الوصول إلى هذه المنطقة ، حيث تبدأ فى السيولة ، لتمتص جزءا كبيرا من الطاقة الحرارية من المنطقة ، مكونة خبثا يحوى نسبة عالية من أكاسيد الحديد ، لم يتم اختزالها بعد ، وهذه الأكاسيد تتعرض نسبيا إلى اختزال مباشر بفعل كربون الكوك الموجود بالمنطقة ، مكونا المعدن الذى يحوى نسبا بسيطة من الشوائب ، وبالتالى ترتفع درجة حرارة بدء سيولته ، فيتجمد بمجرد تكوينه ، مساعدا فى تقوية الرواسب المتكونة . وهذا النوع من الرواسب ، يسهل التخلص منه ، بتغير فى تكنولوجية التشغيل ، بما يقضى على أسباب تكوينه .

ووجود الرواسب له أثر كبير فى انتظام ورتابة التشغيل بالأفران العالية ، لأنها تسبب تعليق شحنة الفرن ، مع استهلاك المزيد من الكوك والوقود ، وخفض الإنتاجية . وتتسبب كذلك فى زيادة كميات أتربة الغازات ، وغيرها من المؤثرات التى تؤدى إلى عدم إمكانية السيطرة على الأفران ، والتحكم فى خواص المعدن المنتج .

وتتكون الرواسب بالأفران العالية نتيجة لعدم انتظام توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن ، فعندما تتصاعد كميات كبيرة من هذه الغازات بسرعة عالية ، ملامسة لجدران الفرن ، أو بالمنطقة القريبة منها ، نتيجة لزيادة مسامية الشحنات بهذه المناطق ، يتسبب ذلك فى ارتفاع درجة الحرارة فى المستويات العليا عن القيمة العادية ، مما يؤدى إلى انصهار بعض مكونات الشحنة قبل اختزالها . وعند زيادة المقاومة للغازات الصاعدة ، نتيجة لذلك ، وتغيير اتجاهها ، تبدأ المكونات المنصهرة فى التجمد ، وتتماسك مع مبانى بطانة الفرن ، مكونة بذلك بؤرة لتكون الرواسب ، يتجمع الكوك تحتها نتيجة إزاحة الخام له . وعليه



شكل ٤٤- رواسب الفرن العالى بالمخروط العلوى

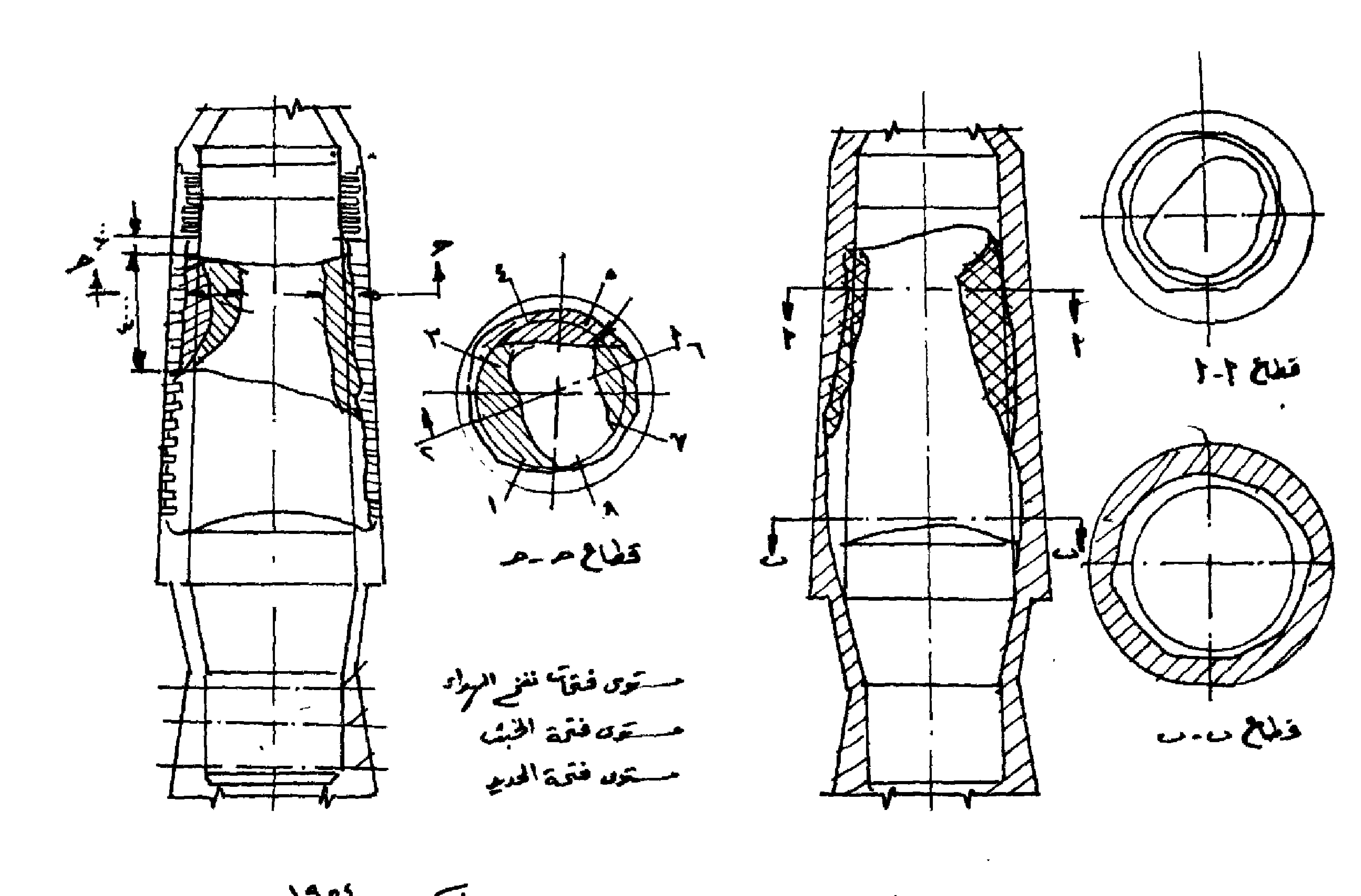
تتزايد مسامية طبقات الشحنة تحت الرواسب ، وترتفع درجة الحرارة مرة أخرى ، لتؤدى من جديد إلى انصهار الخام قبل اختزاله فى مستوى يعلو منطقة تكون الرواسب ، لينتج خبثا يحوى نسبة عالية من أكاسيد المعدن تتفاعل مع كربون الكوك ، وتختزل نسبيا لينتج المعدن بصورة قريبة من النقاء التام ، والذى يتجمد بسرعة نتيجة ذلك ، مكونا الطبقة الخارجية للرواسب ، والتى تسبب زيادة تماسكها وتحملها . وتتكرر العملية ، ويزداد حجم الرواسب تباعا ، ويزداد أثرها السيء على التشغيل ، كما حدث بالفرن رقم (٢) بمصانع **بالأورال بالاتحاد السوفييتى ، الشكل (٤٥) ، حيث أغلقت الرواسب أكثر من ثلث مقطع الفرن عند منتصف المخروط العلوى .**

وبالإضافة إلى ذلك ، تتسبب أبخرة القلويات ، وخاصة سيانيد البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم فى تكوين الرواسب ، حيث تتفاعل هذه الأبخرة مع أكاسيد الخام وكربون الكوك ، مولدة البوتاس ، الذى يتفاعل والطوب الحرارى المبطن للفرن ، مكونا نوعا من الخبث ينصهر عند درجات حرارة (٩٠٠ إلى ١٠٠٠°م) . وترتبط بهذا الخبث اللزج المتماسك بعض أجزاء من مكونات الشحنة . ومع استمرار التشغيل ، وتفاعل القلويات مع أكاسيد الحديد الموجود بالشحنة ، وتولد المعدن منخفض الكربون ، يزداد معدل تكوين البوتاس ، ويتجدد تفاعله مع مكونات الشحنة ، مكونا خلطة متماسكة تتجمع عليها جزيئات أخرى مكونة الرواسب بعد ذلك . ولهذا يتميز هذا النوع من الرواسب ، بطبقات متتالية من المعدن والمواد الأخرى .

ويتغير شكل الرواسب المتكونة ، كما يتغير مكان وجودها ، وكما ذكر من قبل ، فقد يحدث أن تتكون الرواسب بشكل حلق ملامس لجدران الفرن عند مستوى معين ، أو أن تتكون فى أحد جوانب الفرن فقط .

ويمكن معرفة بدء تكوين الرواسب قبل أن يستفحل تأثيرها السيء على التشغيل ، وذلك بمتابعة درجة حرارة صاج الفرن ، حيث أن المناطق التى تلامس هذه الرواسب ، بسبب عدم تعرضها لجو الفرن مباشرة ، تكون أبرد ملمسا من غيرها . وكذلك يمكن تحديد حجم الرواسب المتكونة ، بتتبع أبعادها الخارجية بنفس الطريقة .

ومما ذكر آنفا ، يتضح أنه يمكن عن طريق اتباع نظام شحن يكفل حسن توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن ، بالإضافة إلى المبادرة فى اكتشاف بدء تكوين الرواسب ، يمكننا التغلب عليها بسهولة . أما إذا استفحل الأمر ، ولم تجد المحاولات فى التخلص منها ، فلا



شكل رقم (٤٥) - يبين الرواسب التي تكونت بالفرن «ب» بمصانع إينا كيف سنة ١٩٥٤

« ويلاحظ أماكن تواجدها أعلى فتحات نفخ الهواء وعلى طول الفرن وكذا الطبقات المتعددة بها »

مناص من إزالتها ، عن طريق النسف ، باستخدام عبوات ناسفة ، توضع هذه فى أخرام تجهيز من خلال الصاج داخل الرواسب . ويسبق عمليات التخريم هذه خفض مستوى الشحنة بالفرن ، إلى مستوى أدنى من مستوى نهاية الرواسب السفلى ، مع إضافة نصف كمية الفحم المقدرة للصهر ، ولاختزال الرواسب حسب التقدير المبدئى لحجمها . ثم يبدأ التفجير ، وهذا عمل دقيق يحتاج إلى خبرة خاصة ، بحيث تتم إزالة كل أثر للرواسب نهائيا من المنطقة ، حتى لا تتبق هنال أى نواة يكون من السهل تكون الرواسب عليها بعد ذلك . وعند التأكد من انتهاء العمل ، تضاف الكمية المتبقية من الكوك ، ويبدأ فى تشغيل الفرن كالمعتاد .

وقد مر الفرن الأول بمصانع حلوان بجمهورية مصر العربية ، بمرحلة خطيرة فى بدء تشغيله ، نتيجة تكوين الرواسب بالمخروط العلوى ، ثم القضاء عليها بنفس الأسلوب . وكانت زيادة نسبة النواعم فى المشحونات ، ونظام شحن الفرن ، من الأسباب الرئيسية فى تكوين هذه الرواسب ، التى تميزت بارتفاع قاعديتها ، واحتوائها على نسبة عالية من أكاسيد المعدن .

وتتعرض الأفران الصغيرة حجما ، لتكون الرواسب بنسبة أعلى من الأفران ذات الحجم الكبير .

الباب الثامن
حسابات بعض مؤشرات تشغيل الفرن العالى

يعتمد تشغيل الأفران العالية، برتابة وسلاسة، للحصول على الحديد الزهر المطلوب طبقا لمواصفاته المحددة، إلى حد كبير، على تحقيق تكوين خبث يحوى كل شوائب الخامات المستخدمة وغير المرغوب فيها، وعليه كان لزاما إجراء مجموعات من الحسابات، تحدد كل مؤشرات التشغيل، وما أكثرها. وفى هذا المجال، نورد بعضها وأهمها، والتى تمثل مدخلا تتفرع منه بقيتها، مع الأمثلة ما أمكن، حيث يحد هدف هذا الكتاب من إمكانية الاسترسال فى هذا الاتجاه، رغم أهميته.

ويمكن تقسيم هذه الحسابات إلى الآتى :

أولا ـ حسابات الشحنة :

وتختص هذه باحتساب كميات الخام، ومساعد الصهر، والمواد المختزلة المعروفة تحاليلها من قبل، فى سبيل الحصول على منتجات ذات تحاليل محددة.

ثانيا ـ حسابات المنتجات :

وتختص هذه بحسابات تحاليل، وكميات منتجات الفرن من الحديد الزهر والخبث والغازات، بمعرفة أوزان ومكونات المشحونات.

ثالثا ـ حسابات الميزان الحرارى للفرن :

وتختص هذه باحتساب كميات الحرارة اللازمة للحصول على منتج معين، باستخدام شحنات معروفة، تتم عليها تفاعلات خاصة.

وتتم عادة، ومع بداية التفكير فى أى مشروع لإنتاج الحديد والصلب، دراسة الخامات التى ستستخدم به، وتحدد تحاليلها الكيميائية ومكوناتها وخواصها تحديدا دقيقا، وتجمع هذه البيانات فى جداول تسمى جداول توصيف الخامات، نورد فيما يلى، وكمثال، جدولا يبين التحاليل الكيميائية للخامات المستخدمة والمنتجات :

جـــدول

مجمع التحاليل الكيميائية للمشحونات والمنتوجات

	مشحونـات				منتجـات			
..	خامات حديدية	مكونات قاعدية	مكونات حامضية	الوقود	الزهر المنتج	الخبث المنتج	أتربة الغازات	غازات الأفران
	لبيد ٪ خام ٪	حجر جيرى٪	مغنيسيا	سيليكا ألومينا الكوك مازوت				
أكسيد حديديك	٧٨							
أكسيد حديدوز								
منجنيز	٠,٥					٠,٤		
فوسفور	٠,٨٥					٠, ٩		
سيليكون						٢,١		
ألومينا	٥,٠				١,٠			
ماغنيسيا	١,٢	٠,٨						
جير		٥٣,٨						
كربون					٨٨	٣,٨		
رماد كوك								
مواد متطايره								
رطوبه		٥,١			٢,٠			
أول أكسيد الكربون								٢٥,٧
ثانى أكسيد الكربون			٤٣,٤					١٢,٩
هيدروجين								٠,٣
نتروجين								٥٨,١
سيليكا	٨,٤	٢,٠			١			
حديد						٩٢,٨		
. . . .								

وعليه ، وبمعرفة التحاليل ، يمكن إتمام حسابات الفرن العالى المذكورة آنفا وكما يلى :

أولا : حسابات الشحنة :

ولمثل هذه الحسابات ، يفضل أن تساق الأمثلة الحسابية المحلولة ، لتسهيل إيضاح الخطوات اللازم اتباعها ، فمثلا ، المطلوب تحديد

١ ـ وزن الخام المستخدم

٢ ـ وزن الجلخ الناتج ونسب مكوناته

٣ ـ وزن الهواء اللازم

٤ ـ حجم ونسب مكونات غاز الفرن الناتج

٥ ـ كمية الكوك المحترقة أمام الودنات

المقابل لكل طن (١٠٠٠ كجم) من الزهر المنتج بالتحاليل المبينة بالجدول أعلاه ، بفرن عال يستخدم خام الحديد ، والحجر الجيرى ، والكوك بالتحاليل المبينة بالجدول . علما بأن كمية الحجر الجيرى تعادل ٤/١ كمية الخام المستخدمة ، وأن كل طن من الزهر يحتاج إلى ٩٠٠ كجم من الكوك ، وأن نسبة غاز أول أكسيد الكربون الناتج ، تعادل ضعف نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون ، وأن الخبث يحوى ٠,٥٪ من الحديد الناتج .

الحل : (١) **وزن الخام المستخدم :**

الحديد فى كل كجم من الخام = $\frac{١١٢}{١٦٠}$ × ٠,٧٨ = ٠,٥٤٦ كجم

الحديد الهارب مع الخبث = ٠,٠٠٥ × ٠,٥٤٦ = ٠,٠٠٢٧ كجم
الحديد المتبقى = = ٠,٥٤٣٣ كجم

∴ وزن الخام اللازم = $\frac{٩٢٨}{}$ = ١٧٠٨ كجم ... (١)

٢ ـ : وزن الجلخ الناتج :

يتكون الخبث من الأكاسيد التى لم يتم اختزالها مضافاً إليها باقى عائد العناصر (ص) ، وعليه نجد أن :

كمية السيليكا المشحونة =

١٧٠٨ × ٠,٠٨٤ + ١٧٠٨٤/١ × ٠,٠٠٢ + ٩٠٠ × ٠,٠٩ = ٢٣٣ كجم .

كمية السيليكا التى تم اختزالها للحصول على سيليكون المعدن

= ٦٠/٢٨ × ٢١ = ٤٥ كجم

∴ كمية السيليكا فى الخبث = ٢٣٣ ـ ٤٥ = ١٨٨ كجم ونسبتها ٣٣,٩٠٪

وبالمثل نجد أن :

كمية أكسيد المنجنيز فى الخبث = (١٧٠٨ × ٠,٠٠٦) ـ ٧١/٥٥ × ٤ = ٥ كجم ونسبتها ٠,٩٪

خامس أكسيد الفوسفور فى الخبث = (١٧٠٨ × ٠,٠١٧) ـ ١٤٢/٦٢ × ٩ = ٨ كجم ونسبتها ١,٤٪

أكسيد الحديدوز فى الخبث = ٧٢/٥٦ × ٥/٩٩٥ × ٩٢٨ = ٦ كجم ونسبتها ١,١٪

كمية الألومينا فى الخبث = (١٧٠٨ × ٥/١٠٠ + ٩٠٠ × ١/١٠٠ = ٩٤ كجم ونسبتها ١٦,٩٪

كمية الماغنيسيا فى الخبث = ١٧٠٨ × ١٢/١٠٠٠ + ٤٠/٨٤ × ٢/١٠٠ × ١/٤ × ١٧٠٨ = ٢٥ كجم . . ونسبتها ٤,٥٪

كمية الجير فى الخبث = ٥٦/١٠٠ × ٩٦/١٠٠ × ٤٢٧ = ٢٢٩ كجم ونسبته ٤١,٣٪

∴ وزن الخبث الاجمالى = ٥٥٥ كجم تعادل ١٠٠٪

وعليه تكون نسبة مكونات الخبث كما هو مبين أمام كل منها .... (٢)

٣ ـ حساب حجم الهواء اللازم :

الكربون المتبق فى غازات الأفران = الكربون الموجود فى الكوك المشحون + الكربون الناتج من تحلل الكربونات ـ الكربون المتحد بالمعدن

= ٩٠٠ × ٨٨/١٠٠ + ٤٢٧ × ٩٦/١٠٠ × ١٢/١٠٠ +

٤٢٧ × ٢/١٠٠ × ١٢/٨٤ ـ ٣٨ = ٨٠٤ كجم

وحيث أن كلا من أول وثانى اكسيد الكربون ، يحوى ذرة واحدة من الكربون

∴ ١/٣ الكربون هذا يتحول إلى ثانى أكسيد الكربون ، ٢/٣ إلى أول أكسيد الكربون ، وعليه :

فوزن الأوكسيچين الموجود فى أول أكسيد الكربون = ٢/٣ × ٨٠٤ × ١٦/١٢ = ٧١٨ كجم ،

فوزن الأوكسيچين الموجود فى ثانى أكسيد الكربون = ١/٣ × ٨٠٤ × ٣٢/١٢ = ٧١٨ كجم

∴ إجمالى وزن الأوكسيچين= ١٤٣٦ كجم

ولكن جزءا من هذا الأوكسيچين موجود أصلا متحدا بكربون مساعد الصهر ويساوى

= ٣٢/١٢ (٤٩,٢ + ١,٢)= ١٣٤ كجم

وجزءا آخر نتج من اختزال أكسيد الحديديك ويساوى

= ٤٨/١٠٠ × ٧٨/١٠٠ × ١٧٠٨= ٤٠٠ كجم منها

تخصم منه كمية الأوكسيچين المقابل لأكسيد الحديدوز بالخبث

= ١٦/٧٢ × ٦= ١ كجم

∴ أوكسيچين أكسيد الحديديك = ٣٩٩ كجم

وبالمثل :

الأوكسيچين المقابل لنسبة السيليكا المختزلة = ٣٢/٢٨ × ٢١ = ٢٤ كجم

الأوكسيچين المقابل لنسبة أكسيد المنجنيز = ١٦/٥٥ × ٤= ١ كجم

الأوكسيچين المقابل لاختزال خامس أكسيد الفوسفور = ٨٠/٦٢ × ٩= ١٢ كجم

∴ إجمالى الأوكسيچين الناتج من الشحنة = ٥٧٠ كجم

∴ وزن الأوكسيچين المأخوذ فى الهواء اللافح = ١٤٢٦ ـ ٥٧٠ = ٨٦٦ كجم

وزن الهواء المقابل = ٨٦٦/٠,٢٣٢ = ٣٧٣٠ كجم

جم الهواء المقابل = ٣٧٣٠/١,٢٩٢ = ٢٨٨٥م^{3} .. (٣)

وواضح أن هذه الحسابات لم تتعرض لتفاصيل ما تم مرحليا داخل الفرن من تفاعلات ، ولكنها تعرضت لحالة بداية ثم نهاية ثابتتين ، وهو اتجاه صحيح ، إذا روعى الفرن ككل . أما

إذا قصدت دراسة الحسابات لتفاعلات بجزء معين به . فالمزيد من التفصيلات والتفاعلات المرحلية تجب دراسته حينئذ ، كما أنها تحت الظروف المثالية للحرارة والضغط ، ولهذا فهي تخضع لتصحيح لتقابل الدافع .

٤ ـ حساب تحاليل الغازات ونسب مكوناتها .

مما تقدم نجد أن : ـ

أول أكسيد الكربون = ١٦/٢٨ × ٧١٨ × ٢٨/٢٢,٤ = ١٠٠٥ م^{٣} تعادل ٢٥,٧٪

ثانى أكسيد الكربون = ٣٢/٤٤ × ٧١٨ × ٤٤/٢٢,٤ = ٥٠٣ م^{٣} تعادل ١٢,٩٪

النتروجين = ٧٩/١٠٠ × ٢٨٨٥ = ٢٢٧٨ م^{٣} تعادل ٥٨,١٪

بخار الماء = ٥١/١٠٠٠ × ١٧٠٨ + ٢/١٠٠ × ٩٠٠ × ١٨/٢٢,٤ =

١٣١م^{٣} تعادل ٣,٣٪

إجمالى ٣٩١٧ م^{٣} = ١٠٠٪ (٤)

٥ ـ كمية الكوك المحترقة أمام الودنات : ـ

يحترق جزء من الكوك أمام ودنات الأفران إلى ثانى أكسيد الكربون ، ثم إلى أول أكسيد الكربون (ص) ، وعليه يكون التفاعل النهائى هو ٢ ك + ا$_{٢}$ ـــ ٢ ك ا

وحيث أن كمية الهواء المستهلكة وجدت فى المثال تعادل ٢٨٨٥ م^{٣}/ طن حديد

وهى تحوى ٢,٨٨٥ × ٠,٢١ = ٦٠٦ كجم أوكسوجين

وحسب التفاعل نجد أن هذا الأوكسيجين يحرق = ٦٠٦/٢,٤ × ٢٤

= ٦٤٩ كجم من الكربون

وحيث أن الكوك يحوى ٨٨٪ كربون ، وأن ٩٠٠ كجم كوك تستخدم لإنتاج طن الزهر

∴ كمية الكربون بالكوك المستخدم = ٧٩٢ كجم

وعليه فنسبة الكوك المحترق أمام الودنات إلى المستخدم = ٦٤٩/٧٩٢ = ٨٢٪

أما الجزء الباقى من كربون الكوك ، فإما أن يختلط بالحديد ، وأما أن يؤكسد فى المستويات الأعلى عن مستوى الودنات بأوكسوجين أكاسيد الحديد .

ثانيا : **حسابات المنتجات ووضع ميزان المواد :**

يلزم دواما للحكم على عمليات الأفران ، إجراء المقارنة الحسابية بين المشحون من الخامات والخارج فى المنتجات ، وبمعرفة مدى تطابقها ، يمكن الحكم على مدى مطابقة تحاليل كل منها لأرقام التسجيل والمتوسطات . كما يمكن البحث عن أسباب القصور - إن وجدت - ومعرفتها ولتسهيل شرح هذه الحسابات ، نسوق المثال الآتى : -

يستهلك فرن عال ٩١٢ طنا من خام الجنتيت ، ٥١٠ أطنان من الكوك ، وكميات كافية من الحجر الجيرى ، لإنتاج خبث يحوى ٤٠٪ من السيليكا . فإذا افترض أن كل الفوسفور المشحون ، ٥٠٪ من المنجنيز المشحون ، ١/٥ كمية السليكا المشحونة ، يتم اختزالها جميعا ، وتتحد بالحديد ، لتنتج حديد زهر يحوى ٤٪ كربون .

ويفرض أن كل الكبريت ، وأن ١٪ من الحديد المشحون يتحدان بالخبث ، وأن كمية الهواء اللافح تعادل / ٣٢٠٠ م^3 (مقاسه عند ٥١٥,٥م ، ٧٦٢ مم زئبق وتحوى ٢٢,٥ جم من الرطوبة بكل م^3) ، لكل طن كوك مشحون ، احسب الآتى :

١ - ميزان كامل للمواد بالكيلو جرام لليوم .

٢ - نسب مركبات كل من الحديد الزهر والخبث والغازات الناتجة .

علما بأن تحاليل الخام ومساعد الصهر والكوك كما يلى :

خام الماجنيتيت	٪	مساعد الصهر	٪	الكوك	٪
أكسيد ماجنيتيت	٧٠,٣	حجر جيرى	٩٥,٤	كربون	٨٧,٢
أكسيد حديديك	٤,٨	كربونات مغنيسيوم	٢,٥	بيرست	٢,٠
سيليكا	١٠,٢	ألومينا	٠,٥	سيليكا	٩,٠
خامس أكسيد الفسفور	٠,٩	سيليكا	٠,٩	ماء	١,٨
أكسيد منجنيز م ا٢.	٣,٦	ماء	٠,٧		

ألومينا ٢,٦

ماء ٧,٦

الحل :

من حاصل ضرب أوزان الخامات المشحونة فى نسب مكوناتها ، يمكن الحصول على أوزان هذه المكونات ، وتوضع فى الخانة الأولى من جدول ميزان المواد ، وتحسب كالآتى :

عنصر الحديد :

الحديد المشحون كأكسيد حديد مغناطيسى = ١٦٨٠/٢٣٢ × ٦٤١ = ٤٦٤ ألف كجم

الحديد المشحون كأكاسيد حديديك = ١١٢/١٦٠ × ٤٤ = ٣١ ألف كجم

„ „ كبريت بالكوك = ٥٦/٨٨ × ١٠ = ٦,٥ ألف كجم

إجمالى = ٥٠١,٥ كجم

∴ الحديد الفاقد فى الخبث على هيئة أكسيد حديدوز ١/١٠٠ × ٥٠١,٥ = ٥ كجم

∴ أكسيد الحديدوز بالخبث = ٥ × ٧٢/٥٦ = ٦,٥ كجم

وبافتراض أن هذه الكمية من الحديد مأخوذة من حديد أكسيد الحديديك ، ينتج أن

أكسيد الحديديك فى الزهر = ٣١ - ٥ = ٢٦ كجم

عنصر المنجنيز :

المنجنيز فى أكسيده (م٢) = ٥٥/٨٧ × ٣٣ = ٢١ ألف كجم

المنجنيز فى الحديد الزهر = = ١٠,٥ ألف كجم

∴ أكسيد المنجنيز فى الخبث = ٧١/٥٥ × ١٠,٥ = ١٣,٥ ألف كجم

السيليكا :

السيليكا الموجودة مصدرها السيليكا المشحونة ، بالإضافة إلى السيليكا الموجودة فى مساعد الصهر ، وعليه فإذا افترض أن وزن مساعد الصهر المستخدم = س

∴ السيليكا الذى يحتويها = ٠,٠٠٩ س

ويكون إجمالى السيليكا المشحونة = ٩٣ + ٤٦ + ٠,٠٠٩ س

ويكون ٤/٥ هذه الكمية ، يمثل ٤٠٪ من وزن الخبث الناتج .

وحيث أن مكونات الخبث الأخرى هى كما يلى : -

من الخام = ح ا + م ا + لو ٢ ا٣ = ٦,٥ + ١٣,٥ + ٢٣,٥ = ٤٣,٥

من مساعد الصهر = كا ا + مغ ا + لو ٢ ا٣ = ٥٣٤ س + ٠,٠١٢س + ٠,٠٠٥س = ٠,٥١٥س

من الكوك = كاس المتكون من (ح س) باستعمال (كا ا) من مساعد الصهر كالآتى : -

(ح س + كا ا + ك ـ ح + كا س + ك ا)

= ٧٢/٨٨ × ١٠ = ٨ ، (كا ا) المستخدم = ٥٦/٨٨ × ١٠ = ٦,٥ ألف كجم

∴ الوزن الكلى للخبث حاويا السيليكا = ٤٣,٥ + (٨ ـ ٦,٥) + ٠,٥٥١س + ٤/٥ (١٣٩ + ٠,٠٠٩س)

= ١٥٦ + ٠,٥٥٨ س

∴ ٢٢٢ + ٠,٠٠٧ س = ١٠٠/٤٠ (١٥٦ + ٠,٥٥٨س)

∴ س = ٢٢٥

وعليه تصبح كمية السيليكا فى الخبث = ١٣٩ + ٠,٠٠٩س = ١٤١ ألف كجم

والسيليكون ناتج الاختزال المتحد بالحديد = ٢٨/٦٠ × ٥/١١٤ = ١٣ ألف كجم

الجير :

أكسيد الكالسيوم فى مساعد الصهر = ٥٦/١٠٠ × ٢١٥ = ١٢٠ ألف كجم

أكسيد الكالسيوم اللازم لتكوين كاكب = ٥٦/٨٨ × ١٠ = ٦,٥ ألف كجم

الكالسيوم المقابل = ٤٠/٥٦ × ٦,٥ = ٤,٥ ألف كجم

الحديد الزهر :

وزن الحديد الزهر بدون الكربون = = ٥٢٣ ألف رطل

وزن الكربون به = ٤/١٦ × ٥٢٣ = ٢٢ ألف رطل

الهواء اللازم :

حجم الهواء الكلى = ٥١٠ × ٣٢٠٠ = ١٦٣٠٠٠٠ متر مكعب مقاسا عن درجة حرارة ١٥,٥ مئوية وضغط ٧٦٢ مم

كمية الماء بالهواء = ٢٢,٥ × ١٦٣٠٠٠٠

٣٣٠٠ كجم

وحيث أن كل كجم من الوزن الفعلى للغاز يحوى ٢٢,٤ متر مكعب عند درجة الصفر وضغط ٧٦٠ مم

= ٢٢,٤ × × ٧٦٠/٧٦٢

= ٢٣,٦ متر مكعب

عند درجة ٢٥,٥ وضغط ٧٦٢ مم

∴ حجم بخار الماء = ٣٣٠٠/١٨ × ٢٣,٦ = ٤٣ ألف قدم مكعب

∴ حجم الهواء الجاف = ١٦٣٠ - ٤٣

= ١٥٨٧ ألف مكعب

وحيث أن المتر المكعب من الهواء عند درجة الصفر وضغط ٧٦٠ مم يزن ١,٠٥ كجم

∴ المتر المكعب عند درجة حرارة ١٥,٥ وضغط ٧٦٢ يزن =

١,٠٥ × ٧٦٠/٢٧٢ = ١,٠٠١

∴ وزن الهواء الجاف = ١٥٧٨ × ١,٠٠١ = ١٦٠٠ ألف كجم

ووزن الأوكسيجين به = ٢٣,٢ × ١٦٠٠ = ٣٧١ ألف كجم

وبناء عليه يمكن استكمال جدول موازنة المواد ليصير فى شكله النهائى كالآتى : ومنه يمكن حساب نسب مكونات كل من الزهر والخبث .

أما تكوين وتحليل غازات الأفران ، فيجب أن تحسب طبقا للحجم ، وعليه :

وزن كربون الكوك المحترق = ٤٢٣ ألف كجم

وزن الأوكسيچين المتاح لاحتراق الكوك

لإنتاج ك ا، ك $ا_{٢}$ = ٦٥٨ ألف كجم

ومنه نجد أن كمية الأوكسيچين لإنتاج أول أكسيد الكربون

= ٤٢٣ × ١٦/١٢ = ٥٦٤ ألف كجم

كمية أول أكسيد الكربون المقابلة = ٩٥٦ ألف كجم

مخلفة كمية من الأوكسيچين لتحويل أول أكسيد الكربون

إلى ثانى أكسيد الكربون تعادل = ٩٤ ألف كجم

والتى تؤكسد كمية من أول أكسيد الكربون = ٢٨/١٦ × ٩٤ ح ١٦٥ ألف كجم

مكونة كمية من ثانى أكسيد الكربون = ٢٥٩ ألف كجم

مخلفة خلفها كمية أول أكسيد الكربون = ٨٢٢ ألف كجم

وعليه ، وبإضافة غاز ثانى أكسيد الكربون ناتج تحل الكربونات ،

يصبح إجماليه = ٣٥١ كجم

وعليه يلخص ناتج غازات الأفران كالآتى :

أول أكسيد الكربون = ٨٢٢ × ٣٥٩/٢٨ = ١٠٥٣٢ ألف $م^{٣}$ = ٣٣,٨٪

جدول ميزان المواد كجم فى اليوم × ١٠٠٠

الشحنة	الحديد الزهر	الخبث	الغازات
الخام (٩١٢)			
أكسيد ماجنتيت = ٦٤١	حديد = ٤٦٤		أ = ١٧٦
أكسيد حديديك = ٤٤	حديد = ٢٧	أكسيد حديدوز = ٦,٥	أ = ١١,٥
سيليكا = ٩٣	سيليكاون = ٦٣	سيليكا = ٦٥	أ = ١٥
خامس أكسيد الفوسفور = ٨	فسفور = ٣,٥		أ = ٤,٥
أكسيد المنجنيز م ا$_{٢}$ = ٣٣	منجنيز = ٠,٥	أكسيد المنجنيز = ١٣,٥	أ = ٩
ألومينا = ٢٣		ألومينا = ٢٣,٥	-
ماء = ٦٩			
مساعد الصهر (٤٤٩)			
حجر جيرى = ٢١٥		كا ا = ١١٣,٥	ك ا$_{٢}$ = ٩٤,٥
كربونات المغنيسيوم = ٥٥		مغ ا = ٢,٥	ك ا$_{٢}$ = ٣
ألومينا = ١		لو أ$_{٣}$ = ١	أ = ٢
سيليكا = ٢		س ا$_{٢}$ = ٢	
ماء = ١,٥		كا = ٤,٥	ن$_{٢}$ا = ١,٥
الكوك (١٠٢٠)			
كربون = ٤٤٥	كربون = ٢٢		
سيليكا = ٤٦		س ا$_{٢}$ = ٤٦	ك = ٤٢٣
بيريت = ١٠	حديد = ٦,٥	كب = ٣,٥	
ماء = ٩			يد$_{٢}$ ا = ٩
هواء نفخ (٤,٣٧٣)			
أوكسيجين (ا) = ٣٧١			ا = ٣٧١
نتروجين (ن) = ١٢٣٠			ن = ١٢٣٠
ماء = ٣٣			يد = ٤
			ا = ٣٩
إجمالي ٣٢٧٠	٥٤٦	٢٨٢	٢٤٤١

ثانى أكسيد الكربون = ٣٥١ × ٣٥٩/٤٤ = ٢٨٦٤ ألف م٣ = ٩,٣٥ ٪

بخار الماء = ٣٣ × ٣٥٩/١٨ = ١١٩٥ ألف م٣ = ٣,٨٤ ٪

هيدروچين (يد)٢ = ٨ × ٣٥٩/١٨ = ٧١٨ ألف م٣ = ٢,٣٦ ٪

نتروچين = ١٢٣٠ × ٣٥٩/٢٨ = ١٥٧٦٨ ألف م٣ = ٧ ,٥٠٪

إجمالى = ٣١٠٦٧ ألف م٣ تعادل ١٠٠٪

ثالثا : حساب الميزان الحرارى للفرن :

يحتاج العاملون بالفرن العالى ، لمجموعة أخرى من الحسابات ، تصور العلاقة ما بين كميات الحرارة المتاحة وكمياتها اللازمة لإتمام العمليات الميتالورچية بالفرن ، ومجابهة ظروف التشغيل ، ومثلها تم فى احتساب ميزان المواد ، يمكن تلخيص الحسابات الحرارية فى جدول مماثل يسمى « جدول الميزان الحرارى » للفرن .

ونظرا لضيق المكان والمجال ، نتعرض لذلك هنا بشىء من الاختصار ، وكتوجيه فقط . وعليه ففى جانب الحرارة المتاحة يحتسب الآتى :

١ ـ الحرارة ناتج احتراق الوقود .

٢ ـ الحرارة الكامنة فى الوقود والهواء وشحنات الفرن (وهى عادة صغيرة)

٣ ـ الحرارة ناتج التفاعلات الكيميائية الطاردة للحرارة .

وفى جانب الاستهلاك أو الاحتياجات يحتسب الآتى :

١ ـ الحرارة المستهلكة فى التفاعلات الكيميائية الماصة للحرارة .

٢ ـ الحرارة المستهلكة فى تبخير رطوبة المشحونات .

٣ ـ الحرارة الكامنة فى غازات الأفران .

٤ ـ الحرارة الكامنة فى منتجات الأفران كالمعدن والخبث .

٥ ـ الحرارة المستهلكة فى مياه التبريد .

٦ ـ فواقد الحرارة نتيجة الإشعاع أو التوصيل .

وعليه وبالعودة إلى أرقام ميزان المواد فى المثال السابق ، يمكن احتساب مصادر الطاقة المتاحة كالآتى :

١ ـ الحرارة ناتج احتراق الوقود نجد أن :

الحرارة الناتجة من الكربون المحترق إلى أول أكسيد الكربون = ٣٥٢ × ٢٤٧٠ = ٨٦٩ ألف كيلو كالورى

الحرارة الناتجة من الكربون المحترق إلى ثانى أكسيد الكربون = ٩٦ × ٨٢٦٠ = ٥٨٦ ألف كيلو كالورى

إجمالى = ١٤٥٥ ألف كيلو كالورى (١)

٢ ـ الحرارة الكامنة فى الهواءالجاف :

ويتم تسخين الهواء حتى ١١٠٠° فهرنهيت

= ١٦٠٠ (٠,٢٣٤ + ١٧٣ × ١٠ × ٥٩٣) × ٥٩٣ = ٤٢٧ ألف كيلو كالورى

الحرارة الكامنة فى رطوبة الهواء :

= ٣٣ (٠,٤٦ + ٦ × ١٠ - ٥ × ٥٩٣) × ٥٩٣ = ٩ ألف كيلو كالورى

إجمالى ٤٣٦ (٢)

(الحرارة الكامنة بمادة = وزن المادة (الحرارة النوعية عند درجة حرارة المادة) × درجة الحرارة وتكون اوجه الاستهلاك كالآتى :

(لها جداول خاصة)

١ - ١ - الحرارة اللازمة لتكوين الخبث :

تتكون من مجموع حرارة تكوين مركباتها ، وتجمع هذه فى جداول خاصة ، وفى حالتنا نكتفى باحتياج تكوين المركب (كا ا . س[١]) باعتبار أنه الأكبر نسبيا وتعادل ٤٢٠ كيلو كالورى / كجم سيليكا

الحرارة اللازمة لتكوين الخبث = ١١٣ × ٤٢٠ = ٤٧,٥ ألف كيلو كالورى ورغم أن هذا ربما يقل عن الحقيق بنسبة ٢٥٪ إلا أنه ولصغر القيمة الإجمالية ، فإنه فيمكن إهمال الفارق .

١ - ٢ - الحرارة اللازمة لتكوين الحديد من مكوناته : (لها جداول خاصة)

أساسا لتكوين كربيد الحديد (ح ك) وتساوى (ـ ٤٤٣ كيلو كالورى / كجم كربون ،

أما لتكوين (ح٣ س) = ٢٠٠٠٠ كيلو كالورى / كجم

واحتسابها فى مثالنا، نجد أن قيمتها تساوى = ـ ١٩ ألف كيلو كالورى

١ - ٣ - الحرارة الممتصة فى اختزال الأكاسيد:

وهى اختزال أكاسيد الحديد والسيليكا وخامس أكسيد الفوسفور وأكسيد المنجنيز (لها جداول خاصة)

وفى مثالنا هنا تساوى . . . . ٩٢٧ ألف كيلو كالورى

١ - ٤ - الحرارة اللازمة لتحلل الكربونات:

باستخدام جداول (حرارة تكوين المركبات) ، نجد أن تحلل الحجر الجيرى ٤٣٤٥٠ كالورى لكل جزىء

ولكربونات المغنسيوم تساوى ٢٧٨٠٠ ك / لكل جزىء من المركب ، وعليه فى مثالنا نجد أن :

الحرارة اللازمة لتحلل الحجر الجيرى = ٢١٠ × = ٩٣ ألف كيلو كالورى

الحرارة اللازمة لتحلل كربونات المغنسيوم = ٥,٥ × = ٢ ألف كيلو كالورى

إجمالى = ٩٥ ألف كيلو كالورى

إجمالى الحرارة المستهلكة فى التفاعلات الكيميائية الماصة للحرارة = ١٠٤١ ألف كيلو كالورى . . . . (١)

٢ ـ الحرارة اللازمة لتبخر الرطوبة:

الماء المتبخر = ٦٢ + ١٣ + ٨٢ = ٧١,٥ الحرارة اللازمة = ٧١,٥ × ٥٨٦ = ٤١,٥ ألف كيلو كالورى

الحرارة اللازمة لتحلل مياه رطوبة الهواء

= ٣٤ × = ١١٢ ألف كيلو كالورى . . . (٢)

٣ ـ الحرارة الكامنة فى غازات الأفران:

ك ا = ٧٩١ (٠,٢٤٢ + ١٨ × ١٠-٧ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ٣٩,٧ ألف كيلو كالورى

ك ا = ٣٥١ (٠,٢٠٥ + ٤٦ × ١٠-٧ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ١٥,٣ ألف كيلو كالورى

يد ا = ٤٣ (٠,٤٦ + ٦ × ١٠-٦ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ٤,٢ ألف كيلو كالورى

هيدروچين = ٤ (٣,٢٥ + ٢٢ × ١٠-٥ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ٢,٦ ألف كيلو كالورى

نتروچين = ١٢٣٠ (٠,٢٤١ + ١٨ × ١٠-٧ × ٢٠٤ = ٦٠,٢ ألف كيلو كالورى

إجمالى= ١٢٢ ألف كيلو كالورى . . . (٣)

٤ - ١ الحرارة الكامنة فى المعدن المنتج : (درجة حرارة الحديد ١٥٩٠° م)

من الجداول الخاصة ، ومع مراعاة درجة الحرارة اللازم وصول المعدن لها (١٥٩٠° م) نجد أن الحرارة الكامنة بالمعدن عند درجة حرارة الإسالة (تحليل كربون) تعادل ٢٣٠ كجم كالورى ، ومع معرفة أن الحرارة النوعية لهذا الزهر (٤٪ كربون) = ٠,١٥

∴ الحرارة الكامنة = ٥٤٥ (٢٣٠ + ٤٩٣ × ٠,١٥) ١٦٦ ألف كيلو كالورى

٤ - ٢ الحرارة الكامنة فى الخبث المنتج : (درجة حرارة الجلخ الناتج = ١٥٩٠ ف)

وبالمثل ، وبالرجوع إلى الجداول الخاصة نجد أنها

= ٢٨٢ (٤٠٠ + ٣٠٠ × ٠,٣٠) = ١٣٨ ألف كيلو كالورى

∴ إجمالى الحرارة الكامنة بالمنتجات = ٣٠٤ ألف كيلو كالورى . . . . (٤)

٥ ـ الحرارة الممتصة بمياه التبريد : (٤٠٠ ألف جالون لليوم ، ترفع ٥٥,٦° م)

الحرارة اللازمة = = ٩٣ ألف كيلو كالورى . . . . (٥)

٦ ـ الحرارة المفقودة بالإشعاع والتوصيل :

لعدم توافر البيانات ، تحسب كالفارق بين مصادر والاستهلاك

أى تساوى فى حالتنا = ١٩٣٠ - ١٧٢١ = ٢٠٩ ألف كيلو كالورى

ونلخص النتائج فى جدول الميزان الحرارى كالتالى

وتسهيلا لأعمال الحسابات هذه عكف العلماء على تبسيطها ، ووضعت لها علاقات تجمع العديد من الجداول والدلالات فى صورة مجموعة من الرسوم البيانية ، يمكن بالرجوع إليها ، إتمام هذه الحسابات فى زمن أقل ، وبتقريب لا يضر بمجمل الهدف . ومن هذه المجموعة ، تلك المحددة بالأشكال الآتية :

الأشكال ٤٦ ، ٤٧ ، ٤٨ ، ٤٩ ، ٥٠ .

جدول الميزان الحرارى

الصادر			الاحتياجات		
البند	رطل كالورى × ۱۰۰۰	٪	البند	رطل كالورى × ۱۰۰۰	٪
احتراق الوقود	۱٤٥٥	۸۳,۳	تكوين الحديد	۱۹	۰,۹۸
مع الهواء اللافح	٤۲۷	۱٤,۸	اختزال الأكاسيد	۹۲۷	٤۸,۰۰
تكوين الخبث	٤۸	۱,۹	تحلل الكربونات	۹٥	٤, ۹
			تبخر الرطوبة	٤۱,٥	۲, ۲
			تحلل الماء	۱۱۲,٥	٥, ۸
			حرارة بالغازات	۱۲۲,	٦, ۳
	۱۹۳۰			۱۳۱۷	
			حرارة بالمعدن	۱٦٦	۸,٥٥
			حرارة بالخبث	۱۳۸	۷,۲٥
			حرارة بمياه التبريد	۹۳	٤, ۸
			ح كب ـ كاكب	۷	۰,٤۰
			فواقد الاشعاع والتوصيل	۳۸۱	۱۰, ۸
إجمالى	۱۹۳۰	۱۰۰		۱۹۳۰	۱۰۰

وتستغل هذه الاشكال والجداول فى حساب المتطلبات الآتية :

۱ ـ حساب كمية الكوك اللازمة لشحنة معينة :

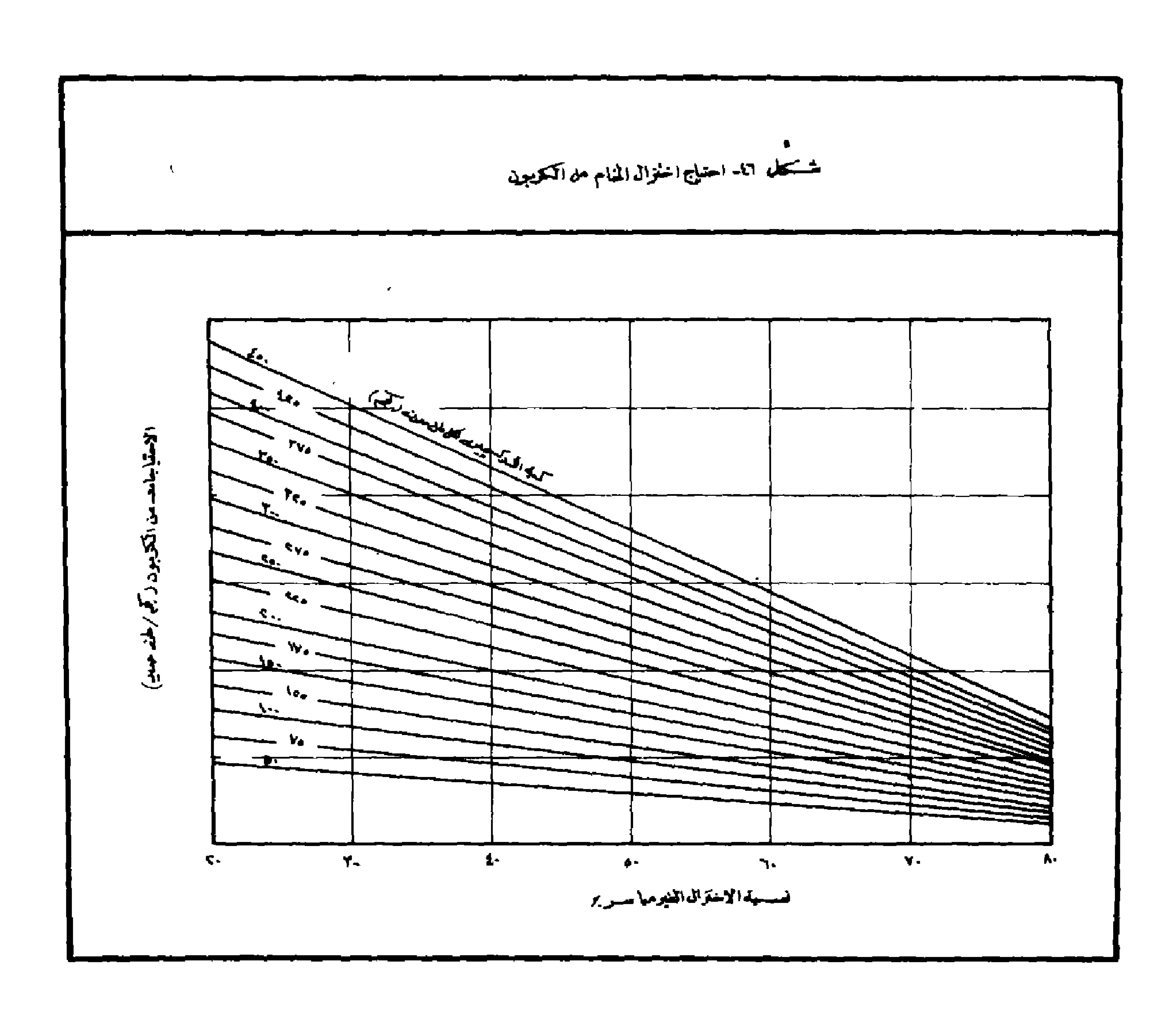
باستخدام هذه المجموعة من العلاقات ، يمكن احتساب كمية الكوك اللازمة لشحنة ما كالآتى :

أولا ـ الكوك اللازم للاختزال :

(أ) يحسب كالمعتاد الكوك اللازم لاختزال الأكاسيد المكونة للحديد الزهر المنتج ـ نسبة الاختزال غير المباشر لهذه الأكاسيد) × ۷٥/۱۰۰

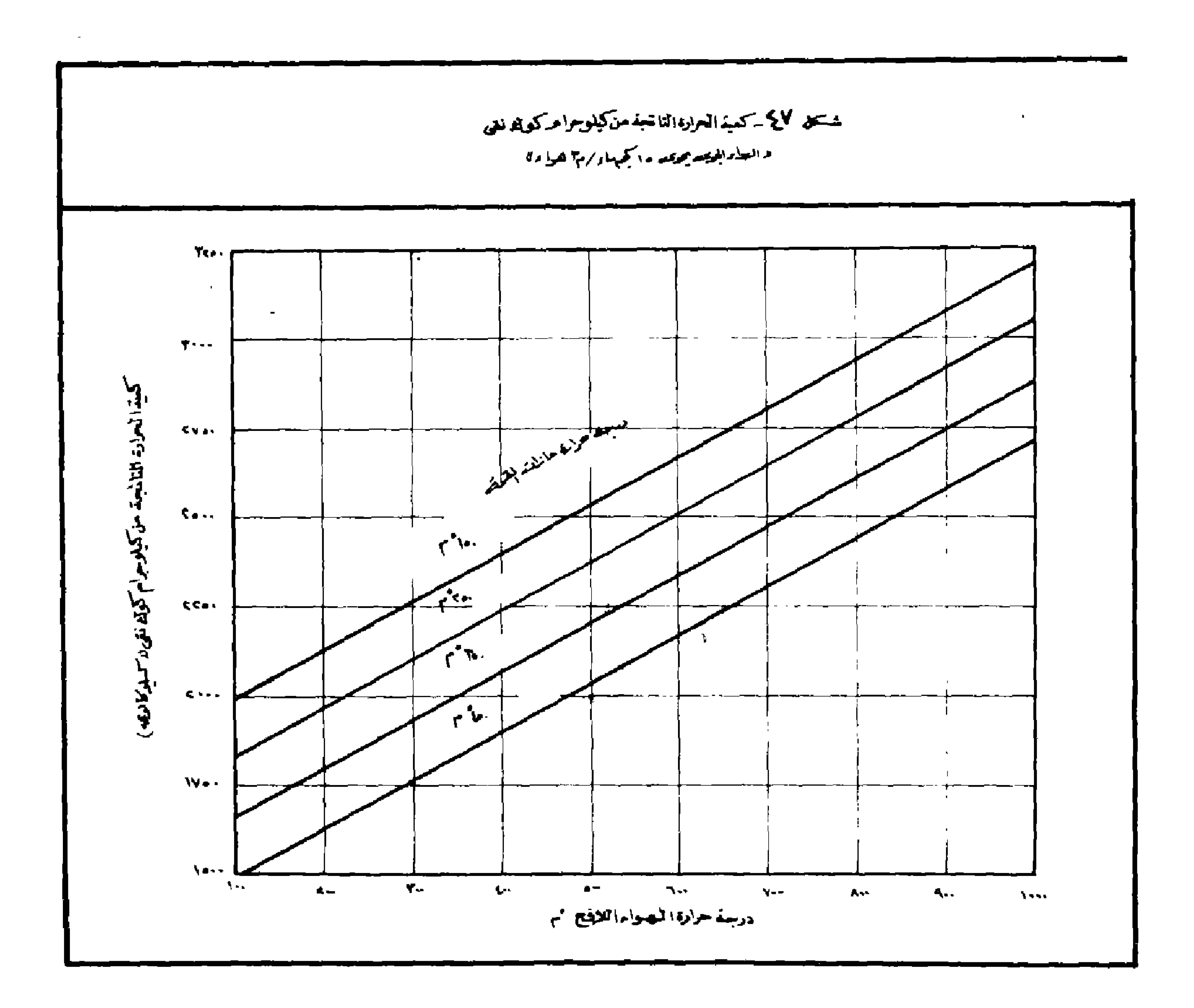
(ب) شكل رقم (٤٦) يحدد هذه الكمية .

ثانيا : الكوك اللازم لتكوينه ، متوسط (أ) ، (ب) بطىء الكوك اللازم للاختزال . . . . (١)

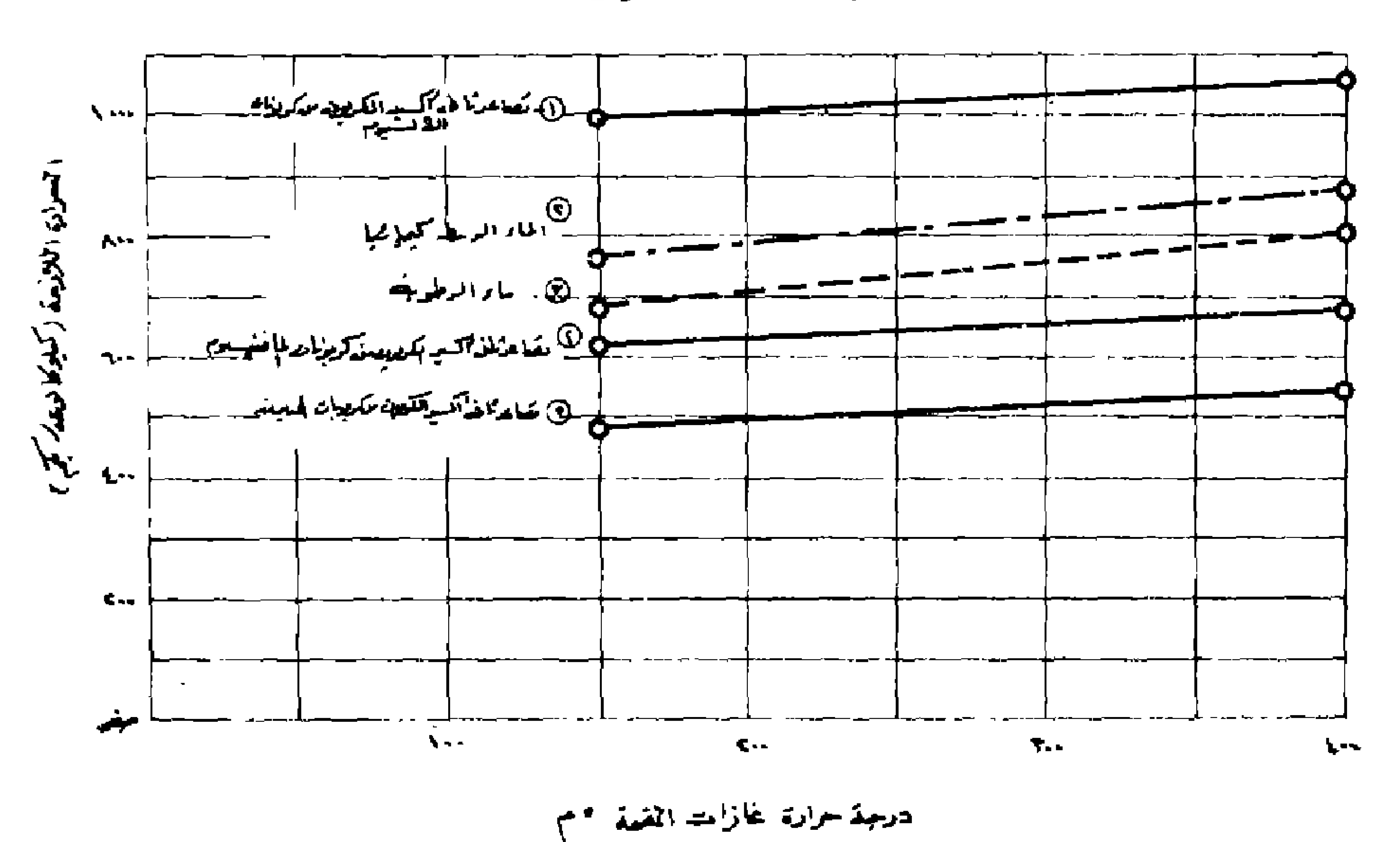


شكل ٤٦- احتياج اختزال الخام من الكربون

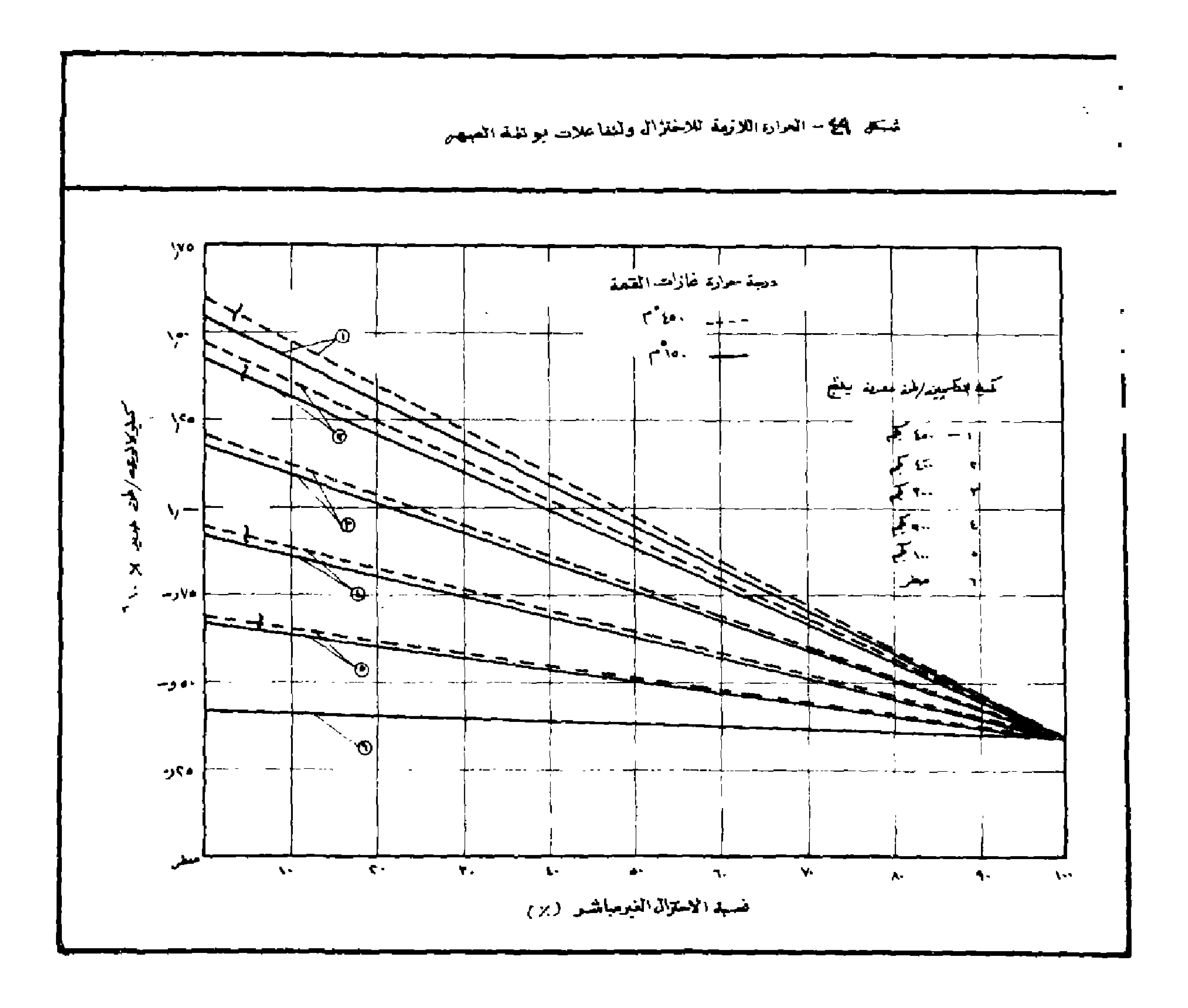
شكل ٤٧ ـ كمية الحرارة الناتجة من كيلوجرام كوك نقي

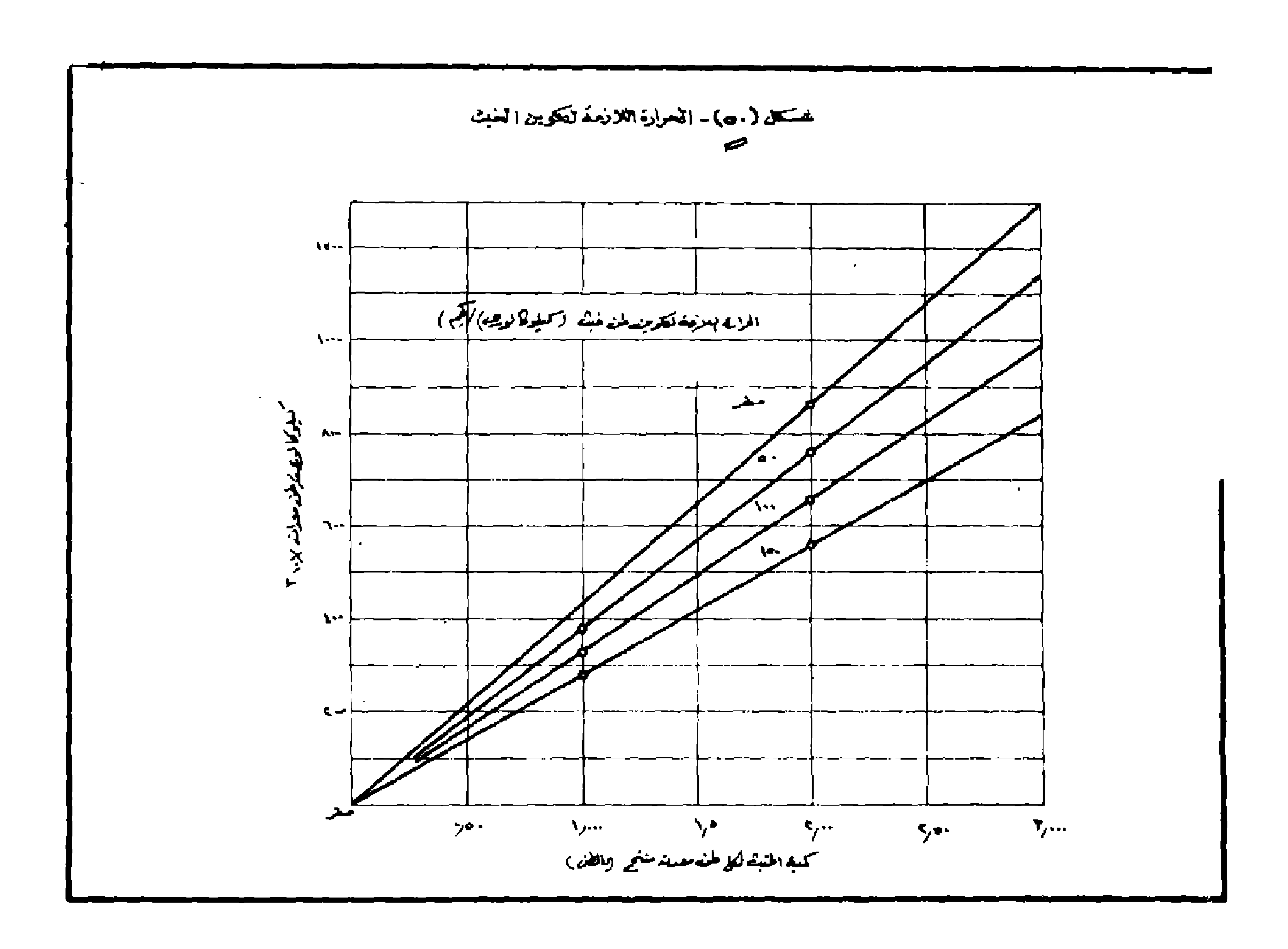


شكل ٤٨ — احتياجات كل كجم من ثانى أكسيد الكربون بالكربونات أو الماء من الحرارة



شكل ٤٩ – الحرارة اللازمة للاختزال والتفاعلات بوتقة الصهر





شكل (٥٠) - الحرارة اللازمة لتكوين الخبث

ثانيا : الكوك اللازم للكرينة : مباشرة من تحليل المعدن يمكن احتسابها . . . . . . (٢)

ثالثا : الكوك اللازم للتسخين :

كمية الكوك اللازم لتكوين الحديد ، ورفع حرارته لدرجة حرارته عند صبه + كمية الكوك اللازم لتكوين الخبث ، ورفع حرارته لدرجة معينة + كمية الكوك اللازم للتخلص من الرطوبة وتبخرها ، والكوك اللازم لتحلل الكربونات والهيدروكسيدات ، والكوك المطلوب ولتكوين بخار الماء ورفع درجة حرارته + الكوك المقابل للحرارة الخارجة مع الغازات + الكوك اللازم لتوفير الحرارة المفقودة بالإشعاع أو التوصيل + الحرارة اللازمة لباقى التفاعلات .

وهذه يمكن تحديدها باستخدام الأشكال أرقام (٤٧) ، (٤٨) ، (٤٩) ، (٥٠) حيث يمكن تمثيل هذه العلاقة كالآتى :

كوك تسخين = $\frac{\text{الاحتياجات عاليه}}{\text{الحرارة الناتجة عن احتراق كربون الكوك — الحرارة اللازمة لتسخين هذا الكوك لدرجة الاحتراق .}}$

والحرارة اللازمة لتسخين الكوك هذه تعادل $\frac{\text{١٢٠ الى ١٥٠}}{\text{٧٧ر٠}}$ كيلو كالورى/كجم كوك ساخن وعليه يجمع ناتج (١) ، (٢) ، (٣) تحدد كمية الكوك اللازمة لشحنة ما .

وبالمثل يمكن بمعرفة تحاليل وكميات الشحونات ، وتحاليل الحديد الزهر الناتج ، احتساب كمية الخبث الناتج ، وتحاليله ، ونسب مكوناته ، ومؤشرات التشغيل للفرن بسهولة ، باستخدام نموذج الحسابات الآتى :

٢ ـ حسابات كمية الغازات الناتجة بطريقة مباشرة :

لما كان نتروجين الهواء اللافح ، لا يتعرض من خلال رحلة الغازات فى الفرن لأى تغيير فى كميته (خلافا للنقص المحدود مقابل تلك الكميات التى تتحد بجزء من كربون الكوك وتكوين السيانوجين ، أو تلك التى تتحد بالهيدروجين مكونة أمونيا) ، فعليه يمكن اعتبار هذه الكمية ثابتة :

وحيث أن نسبة النتروجين بالحجم فى الهواء اللافح تساوى ٧٩٪

وأن نسبة النتروجين بالحجم فى غازات الأفران ، معروف من قراءات الأجهزة (مثلا ٥٩٪)

٣ ـ تحديد كمية الغازات الناتجة أمام الودنات :

بمعرفة تحليل غاز الودنات (ص) ، وحيث أن كل ١٠٠ جزء من هذا الغاز تنتج من (٨٣,٤) جزء من الهواء اللافح

∴ حجم غاز الودنات يعادل = ١,٢ حجم الهواء اللافح الفعلى الداخل للفرن ويمكن تحقيق ذلك من ميزان النتروجين ، ومن خلال تحليله فى كليهما .

٤ ـ حساب القيمة الحرارية لغاز الأفران :

بمعرفة تحاليلها وبمعرفة الآتى :

كل كجم كربون ، يتحول إلى غاز أول أكسيد الكربون ، يحوى حرارة = ٢٤٣٠ كيلو كالورى

كل كجم كربون يتحول إلى ثانى أكسيد الكربون ، يحوى حرارة = ٨١٠٠ كيلو كالورى

كل كجم من الايدروجين يتحول إلى بخار ٣٣٩٢٠ كيلو كالورى يمكن احتساب القيمة المطلوبة .

٥ ـ حساب أقطار ودنات نفخ الهواء :

تتوقف قيمة قطر ودنة النفخ ، على كمية الهواء المطلوب للفرن كل دقيقة ، وعلى عدد الودنات ، وعلى ضغط الهواء اللافح عند الودنات .

ولقد حدد علماء التصميم ، أقصى قيمة لكمية الهواء المار خلال السنتميتر المربع من قطر الودنة / دقيقة بمقدار ٠,٤٥ سم^{٣} وعليه فبمعرفة القيمة الإجمالية للهواء / دقيقة ، وبالقسمة ، يمكن تحديد مساحة الودنات الكلية ومن معرفة عددها (حسب قطر الفرن ص) يمكن حساب مساحة كل منها ، وبالتالى قطرها .

٦ ـ حساب أقطار مواسير الهواء الساخن والبارد :

اقترح فورمى القانون التالى لقطر الماسورة $= \dfrac{\text{طول الماسورة فى سرعة الهواء بها}}{\text{٢٥٠٠٠} \times \text{قيمة انخفاض الضغط بها}}$

وقدر انخفاض الضغط المقصود كالاتى :

٩٣ جم . . . . . للشحنات

٩٣ جم . . . . . فى مواسير الهواء البارد

٣١٠ جم . . . . . في مواسير الهواء الساخن

بينما حدد سرعة الهواء البارد بحوالى ٣٠ متر / ثانية ، وسرعة الهواء الساخن بحوالى ٨٣ متر / ثانية (نتيجة زيادة الحجم بالتسخين) .

فإذا كان طول مواسير الهواء البارد ٤٨ مترا ، ومواسير الهواء الساخن ٣٨ مترا ، وبالتعويض في القانون ، ينتج أن قطر الأولى ٢٩ سم ، وقطر الثانيه ٦٦ سم .

وعموما هنالك العديد من مؤشرات التشغيل التي يتم حسابها كروتين يومى بأقسام الأفران العالية ، منها على سبيل المثال وليس الحصر : درجة الحرارة النظرية والفعلية أمام الودنات ، قدرة الصهر للفرن . . . . إلخ . ، والتي لا يمكن حصرها في مجالنا هذا .

حساب التكاليف :

بعد تحديد المعدلات من الاستهلاك والإنتاج لكل طن من الحديد الزهر المنتج ، وبمعرفة أسعار الوحدات هذه ، يمكن حساب تكاليف إنتاج طن الحديد الزهر من الخامات . تضاف إليه بعد ذلك توابت بقية الاستهلاكات من القوى المحركة ، والمصاريف الإدارية ، لينتج بعد ذلك سعر تكلفة فعلى لإنتاج طن الزهر بالفرن . وهو من أهم المؤشرات ، بل هو خلاصتها .

وفيما يلي تصميم بسيط لنموذج لإتمام هذه التكاليف :

مسلسل	الخامة أو المنتج	معدل الاستهلاك أو الإنتاج كجم / طن	سعر الوحدة	تكلفة الطن
١	**خامات أولية :**			
	خام الحديد			
	نسبة الفواقد			
	إضافات حديدية			
	الكوك			
	فاقد الكوك			
٢	**قوى :**			
	قوى كهربائية			

مسلسل	الخامة أو المنتج	معدل الاستهلاك أو الإنتاج كجم / طن	سعر الوحدة	تكلفة الطن
	مياه			
	بخار			
	غازات أفران أو كوك .. الخ			
٣	**صيانة :**			
	صيانة كهربائية وقطع غيار			
	صيانة ميكانيكية وقطع غيار			
٤	**مصاريف إدارية**			
	مباشرة			
	غير مباشرة			
٥	**مخازن واستهلاكات**			
	مهمات أخرى وخامات إضافية			
	استهلاكات			
	تأمينات ... إلخ			
	وإجمالى تكلفة المصروفات	-	-	-
٦	**عائدات :**			
	.... غاز الفرن العالى			
	.... خبث الحديد الناتج			
	.... تماسيح الزهر الناتجة			
	.... تراب الغازات			
	إجمالى تكلفة العائد			
	إجمالى تكلفة إنتاج الطن			

والحديث فى هذا المجال مهما يطول ، فلن يوفى الموضوع حقه ، فاقتصاديات التشغيل المبنية على حسابات الاستهلاكات لها مؤلفات عديدة ، ولا يزال الباحثون يجدون فيها الكثير من نقاط البحث . فعذرة لعدم الوصول إلى إرضاء رغبة القارئ ، وننصح بالاطلاع ، لتكتمل الصورة التى لا يمكن جمعها من مؤلف واحد ، خاصة إذا كان لهذا المؤلف هدف محدد .

الباب التاسع
الاتجاهات الحديثة فى تشغيل الأفران العالية

يعكف العلماء والباحثون والمهتمون بتشغيل الأفران العالية واقتصادياتها على البحث عن أحسن الوسائل وأكثرها ملاءمة لعملياتها ، ومنذ أن استطاع العالم الألمانى شنك ، تحديد ثابت التعادل لتفاعلات اختزال أكاسيد الحديد ، توالت الأبحاث ، تكشف يوما بعد الآخر ، عن التفاعلات الكيميائية والفيزيقية التى تتم بالأفران العالية ، وتوضح العلاقات التى تحكمها وتربطها بعضها ببعض وكان هدف هذه الأبحاث فى مبدئها علميا فقط ولكن مع تطور الصناعة ، وانتقالها تدريجيا من مرحلة الفن الى مرحلة التطبيق لنتائج النظريات فى مجال الانتاج ، بدأ فعلا تطوير تشغيل الأفران العالية ، وبدأ العلماء والباحثون والعاملون ، مرحلة من تعاون صادق فى البحث والتطبيق ، وتحليل النتائج والتطوير ، الأمر الذى أدى إلى تغيرات عديدة فى تصميم الأفران ومعداتها ، وفى طريقة تشغيلها ، ومع بلوغ مرحلة المعرفة الكاملة بطرق التشغيل وبالتالى رقابة الإنتاج ، بدأت مرحلة جديدة من مراحل البحث والتطبيق ، لأحداث النظريات العلمية فى التشغيل ، سعيا وراء تحقيق الأهداف الاقتصادية ، وعمر القرن العشرون فى سنواته الأخيرة باستحداث العديد من الاتجاهات الحديثة فى فن تشغيل الأفران العالية ، شملت نواحى متعددة ومتباينة كان من أهمها :

(ا) الحد من شحن الحجر الجيرى بالأفران وأن تستبدل به شحنات من اللبيد أو الخام المتوازن .

(ب) تشغيل الأفران العالية بضغط عال بالقيمة .

(ج) إدخال مواد عديدة الى الأفران عن طريق الحقن ، لزيادة كفاءتها ، أو لتحسين إقتصادياتها ، مما أدى إلى استحداث حقن الأفران بالأكسيجين أو المواد الهيدروكربونية سائلة كانت أم غازية أو صلبة ، سعيا وراء إحلال جزء من الكوك المستخدم بكربون هذه المواد .

(د) إدخال نظام الميكنة والتحكم الالى فى عمليات تشغيل الفرن أو معداته .

(هـ) معالجة العيوب التى اكتشفت بتصميم الفرن أو معداته . واستحداث العديد من المعدات وأجهزة المراقبة والقياس التى تسهم فى تحسين الأداء وتحقيق مؤثرات التشغيل المستهدفة .

وفيما يلي استعراض سريع مبسط لهذه الاتجاهات والنظريات التي بنيت عليها ، والهدف منها ونتائج تطبيقها عمليا .

١ ـ الحد من شحن الحجر الجيرى بالأفران :

يستخدم الجير بالأفران العالية ، كمساعد صهر يتحدد بالشوائب غير المرغوب فيها مكونا مركبات كيميائية ثابتة ، تحت ظروف التشغيل السائدة بها ، وبذلك يمكن التخلص من نسبة عالية من كل من الكبريت ورماد الفحم وسيليكون الخام والكوك وجزء من المنجنيز ، حيث يساعد الجير فى الحصول على تكوين محدد الصفات والمواصفات للخبث الناتج وبالتالي للحديد الزهر المنتج ، ولذا فالجير أساسى فى شحنة الفرن العالى . و يشحن الحجر الجيرى بالأفران العالية كمصدر للجير المطلوب ، غير أن لذلك العديد من المؤثرات الضارة بسير العمليات والتي تتخلص كالآتى :

١ ـ تحتاج عملية تحلل الحجر الجيرى حسب المعادلة التالية كاك أ٣ ——— ك ١٢ + كا ١ إلى كمية كبيرة من الحرارة تمتص ولا شك من حرارة المحيط الذى يتم فيه التفاعل . لذا نجد أنه لابد من زيادة نسبة الكوك المستخدمة لتعويض الطاقة الحرارية المفقودة بمعنى زيادة المستهلك من الكوك .

٢ ـ إن غاز ثانى أكسيد الكربون المتولد نتيجة تحلل الحجر الجيرى ، يتسبب فى زيادة نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون بغازات الأفران العالية الصاعدة خلال الشحنات ، ونتيجة لذلك تنخفض قدرة الغازات الاختزالية .

٣ ـ لما كان الحجر الجيرى المضاف يحتوى على نسبة من الجير لاتزيد بكثير عادة على ٥٠٪ من الكمية المشحونة فإن ذلك يسبب كفاءة شحنة الفرن بالتالى زيادة حجم الفرن المقابل لإنتاج طن من المعدن . (إضافة كجم حجر جيرى يخفض الإنتاجية بمعدل ٠٢ر٠ الى ٠٣ر٠٪)

٤ ـ نظرا للاختلاف بين خواص الحجر الجيرى وخواص بقية مكونات شحنة الأفران العالية ، فقد يحدث خلال مراحل هبوط الشحنة بالفرن ، أن يتجمع الحجر الجيرى بمنطقة ما بالفرن ، بقدر أكبر منه فى مناطق أخرى ، وبالتالي يتكون نوعان من الخبث : أحدهما ذو قاعدة أعلى منها فى الآخرى ، الأمر الذى يؤثر فى سير العمليات الميتالورجية بمنطقة بدء تكوين الخبث بالفرن ، تأثيرا غير مستحب .

٥ ـ فى وجود غاز ثانى أكسيد الكربون والحديد المختزل حديثا ، وفى درجات الحرارة

٤٥٠ الى ٥٠٠° م يتم التفاعل على النحو التالى ٢ ك ا ——— ك ١ ك وفى وجود غاز ثانى أكسيد الكربون ودرجات الحرارة العالية ، يتم التفاعل فى الاتجاه العكسى الذى يستهلك كربون الكوك مسببا زيادة فى الإستهلاك ، خاصة وأن هذا التفاعل ماص للحرارة .

ويتقدم فن التشغيل للأفران العالية ، ووضوح هذه الآثار غير المستحبة ، ولتفادى آثارها الضارة ، اتجه التفكير الى ضرورة إيجاد وسيلة أخرى لإمداد الفرن بالجير مباشرة ، ولما كان الجير الحى هشا ولا يمكن شحنه مباشرة بالأفران العالية ، أصبح من الواضح أنه لاسبيل الى تحقيق ذلك ، الا عن طريق ربط الجير طبيعيا أو كيميائيا الى الخام المشحون ، فظهرت عمليات التكوير والتطويب والتلبيد التى انتشرت أخيرا ، وأن كانت تلك الطرق التى تحوى الجير كمركب كيميائى (وأهمها عمليات التلبيد) أكثرها انتشارا لمزاياها المتعددة من حيث كمية وحجم ونوعية المنتج .

ولقد أثبت عمليات التشغيل ، أن استخدام اللبيد ذى القاعدية المتعادلة بدلا من الخام بشحنات الأفران العالية ، قد زاد من انتاجيتها بما يعادل ٢٠٪ وقلل من معدل الكوك المستخدم بنفس القدر تقريبا وكذا قلل من كميات أتربة الغازات ، بما يعادل ٤٠٪ من المعدل الأصلى .

(ب) تشغيل الأفران العالية بضغط عال بالقمة :

وكان ، وما زال ، وسيظل ، معدل استهلاك الكوك لإنتاج طن من الحديد الزهر ، أهم مؤثر من مؤثرات الأفران العالية ، حيث إذ أنه مؤثر فى تكلفة الإنتاج وتهدف غالبية التطورات العالية فى تجهيز وتشغيل الأفران العالية الى خفض هذا المعدل إلى أقل مايمكن ، ولما كان هذا المعدل يتأثر بمدى استغلال غازات الأفران العالية الصاعدة بالفرن وبسرعة تفاعلات اختزال أكاسيد الحديد وبالمواصفات الطبيعية للخامات المشحونة ، وأخيرا بنسبة أتربة الغازات الهاربة من الفرن ، ولذا كان البحث عن وسيلة لخفض سرعة الغازات ، وخفض أثر الخواص الطبيعية للخامات ، وخفض كمية أتربة الغازات المفقودة ، وتحسين وزيادة تفاعلات الإختزال ، شيئا هاما وضروريا ، ومن هنا بدأ التفكير فى تشغيل الفرن بضغط عال بالقمة ، مما يؤدى الى تحقيق هذه الأهداف .

ولقد بدأت أبحاث تشغيل الأفران بضغط عال فى الفترة قبل الحرب العالمية الثانية واستغرقت أكثر من ١٠ سنوات وتتلخص الفكرة نظريا فى الآتى :

١ ـ بزيادة الضغط الذى تتعرض له الغازات داخل الفرن يتناقص حجمها بمقدار التغير فى الضغط المطلق الذى تتعرض له بمعنى أن :

$$ح_{١} \cdot ص_{١} = ح_{٢} \cdot ص_{٢}$$

ويلازم تناقص أحجام هذه الغازات انخفاض فى سرعتها ، وبالتالى زيادة فى زمن تلامس شحنة الفرن وهذه الغازات ، وبالتالى تحسن فى تجهيز الشحنة . (عند درجة حارة ثابتة ودرجة لزوجة ثابتة للغازات)

٢ ـ أن مقدار الخفض فى ضغط الغاز خلال احتراق شحنات الفرن ، يتناسب عكسيا والفرق بين الضغوط المطاقة باعلى الفرن وبمنطقة الودنات ، بمعنى :
عند درجة حرارة ثابتة ودرجة لزوجة ثابتة للغازات .

$$ص_{١}\ ص_{١} = ص_{٢}\ ص_{٢}$$

وحيث أن ضغط الغاز بأعلى الأفران الكبيرة حاليا وضغطه أمام الودنات ، يصل حتى ١,١ ، ٢,٣ جوى على التوالى .

∴ الضغط المتوسط بالفرن = $\overline{\qquad}$ = ١ر٧ جوى

فإذا زيد هذا الضغط الى ٢,٤ لأمكن حساب الفرن بين الضغط أمام « الودنات » وبأعلى الفرن حسب المعادلة :

$$\frac{٥\ ض_{٢}}{٢,٣ - ١,١} = \frac{١,٧}{١,٤}$$

∴ $ص_{٢}$ = ٠,٨٥ جوى وعليه يصبح الضغط أمام الودنات مساويا ٢ + ٠,٨٥ = ٢ر٨٥ جوى . ويصبح متوسطه بالفرن مساويا + ٢ر٤٢ جوى .

وعلى ذلك يلاحظ أن زيادة الضغط بقمة الفرن من القيمة ١,١ الى ٢,٠٠ قد نجم عنه اختلاف بين ضغط القمة والودنات مساويا ٠,٨٥ جوى ، أى أقل من الحالة العادية ، حيث كان فارق الضغط مساويا ١,٢ وبالتالى يمكن زيادة الإنتاج إذا رغب فى حفظ نفس الفرق فى الضغط بين أعلى الفرن والودنات ، غير أن ما يتطلبه ذلك من زيادة تآكل أجهزة الشحن وقة الفرن قد حد الى حد بعيد من تحقيق هذا الهدف النظرى .
ويستتبع هذا الخفض فى فرق ضغط القمة عن الودنات بزيادة الضغط بالقمة ، تحسين

توزيع الغازات بالفرن إنخفاض ارتفاع قمع الشحنات . كذلك زيادة ضغط الغازات بالأماكن التي كان منخفضا فيها من قبل وبالتالي تحسين عمليات الاختزال بالفرن .

ولما كان هذا الفارق يمثل القوة الدافعة لعامود الشحنة بالفرن ، وبالتالي فإن زيادة على قدر معين ، يؤدى الى تعليق الشحنة بالفرن ، وخفضه يمنع هذا التصليق ، ويزيد من سرعة هبوطها على الجوانب ، وانخفاض هذه السرعة في منتصف الفرن . لذا يجب مراقبته تماما وتثبيت قيمته ما أمكن ذلك الشكل .

وكما يؤدى هذا التشغيل الى تحسين توزيع الشحنات على مسطح الفرن ، ويمنح العاملون بالأفران ، فرصة لزيادة كفاءة تشغيلها ، بزيادة كمية النفخ ، أو رفع درجة الحرارة للهواء اللافح ، أو زيادة نسبة الأوكسيجين به . . . الخ .

٣ ـ إن الاختزال غير المباشر بالفرن ، يتم في حقيقته على خطوتين (ص٩٦) :

ح ا + ك ا ——— ح + ك ا٢ (١)

ك ا٢ + ك ——— ٢ ك ا (٢)

ح ا + ك ——— ح + ك ا

وحيث أن التفاعل بالخطوة الأولى يتم بالانتشار ، الذى تعتمد سرعته على مقدار معامل الانتشار للغازات المختزلة الذى ينخفض بدورة بزيادة الضغط ، وبالتالي تنخفض سرعة التفاعل من ناحية ومن ناحية أخرى فحيث أن سرعة التفاعل تعتمد على الضغط الجزئي للغازات المختزلة ، والذى يزيد بزيادة الضغط ، وبالتالي تزداد سرعة التفاعل نجد أنه يؤثر في سرعة هذا التفاعل مؤثران يعملان في إتجاهين مختلفين ، وحتى يستطيع المؤثر الثاني التغلب على تأثير الأول ، زيادة الضغط الى ١٠ جوى ، الأمر الذى يصعب تحقيقه في عمليات الأفران العالية ومن ثم فعملية زيادة ضغط القمة بالأفران العالية ، لاتؤثر إطلاقا في زيادة سرعة الاختزال الغير المباشر وإن كان نتيجة لتحسين تجهيز الشحنة . تتحسن عمليات الاختزال غير المباشر تبعا لها .

أما الخطوة الثانية في التفاعل ، فيلاحظ أن زيادة الضغط (تبعا لقانون لى شاتليه) يزيد من سرعة التفاعل في الاتجاه العكسى وبالتالي يخفض من الاختزال المباشر ومن فقد الكوك والحرارة .

وتتم عملية زيادة الضغط بأعلى القمة عن طريق تركيب خانق لمواسير الغاز النظيف، عقب مجمعات الأتربة والحلزونات، وقبل المبردات ومحطة التنقية، وبالتحكم فى حركة هذا الخانق الذى قد يكون على هيئة لوح رأسى، يعترض مرور الغازات وبمقدار ميله عن الاتجاه الرأسى، يسمح بمرور الغاز. وقد يكون على هيئة قرص متحرك من مجموعة أقراص مختلفة الأقطار، تفتح تباعا، للسماح بالكمية المحددة من الغازات بالمرور. تصبح المنطقة من هذا الخانق، وحتى ودنات النفخ، تحت تأثير الضغط المضاد.

ولقد شكل تنفيذ هذا التطوير العديد من مشاكل التصميم لمعدات الشحن، ولمعدات قمة الفرن وخاصة فى تصميم بوابات الانفجار والمحابس على مجمعات الأتربة والحلزونات وكذا ممر التعادل الجانبى الذى يوصل الغاز النقى المضغوط الى المكان المحصور بين الجرسين، ليزيد الضغط فيه، حتى يتعدى الضغط المعرض له الجرس الكبير من داخل الفرن، فيفتح الجرس الكبير، وتهبط الشحنة، ويتم إغلاق الغاز المضغوط، فيغلق الجرس تحت تأثير ضغط الغازات الصاعدة من الفرن، أما الجرس الصغير فيفتح عاديا، وبدون مشاكل.

ويتبع تشغيل الفرن بضغط عال بالقمة، زيادة كمية الغازات الصاعدة بجوار جدار الفرن، وبالتالى يلزم إجراء تجارب عديدة، إلى أن يتم حتى الحصول على نظام الشحن الذى يضمن توزيع الغازات الصاعدة على قطاع الفرن، وحسن توزيع هبوط الشحنات **على مقطع الفرن، وبالتالى سرعة هبوط الشحنات بجوار الجدار كما سبق ذكره، ولقد حقق إدخال هذا التطوير نتائج طيبة، فزاد الإنتاج بالأفران الأمريكية بنسبة ٧,٥ - ١٥٪ وفى الأفران الانجليزية بنسبة ١٢ ٪ وفى الاتحاد السوفيتى بنسبة ٩٪**

ونظرا إلى النتائج الطيبة التى حققها هذا الاتجاه فان غالبية الأفران فى البلدان المتقدمة تعمل حاليا بضغط عال فى القمة.

(ج) إدخال مواد عديدة الى الأفران عن طريق الحقن:

تسعى التكنولوجية الحديثة والتى يساعدها التقدم العلمى المطرد الى إفساح مجال التطبيق العلمى بالعديد من النظريات العملية المتطورة، بحثا وراء تحقيق أهداف اقتصادية، والوصول الى تشغيل يسهل التحكم والسيطرة عليه. وكنتيجة لذلك، تعرضت الأفران العالية ـ كغيرها من وحدات الإنتاج ـ للعديد من التجارب والأبحاث، وكانت عملية حقن الأفران العالية بالعديد من المواد وتقييم نتائج إضافتها، من أهم هذه التجارب، وأكثرها عمقا وأثرا، وأضيفت عن طريق الحقن الى الأفران المركبات الهيدروكاربونية كالغاز

الطبيعي ، والمازوت ، وأضيف الكوك والجير ، وأضيف الأوكسيجين . الخ وكل من هذه الإضافات كان تستهدف هدفا محددا يحقق النتائج الاقتصادية أو العملية السابقة ذكرها . وفي ما يلي نتعرض لكل على حدة محاولين اللقاء على الآثار المترتبة على استخدامه .

(ج) ١ - حقن الأفران العالية بالأوكسيچين :

تتلخص عملية تشغيل الأفران العالية ، في اختزال أكاسيد الحديد بغاز أول أكسيد الكربون الناتج عن الإحتراق غير الكامل لكربون الكوك المضاد بالشحنة ، بأوكسيچين الهواء الجوى ، بعد رفع درجة حرارة الأخير الى درجة حرارة ملائمة بمعنى أنه بتوفير الأوكسيچين يمكن زيادة كمية الكوك المحترقة في زمن معين ، ولما كان تفاعل الاختزال يتوقف على القدرة الاختزالية لغازات الأفران العالية ، وبالتالى نسبة أكسيد الكربون بها ، فعليه يمكن زيادة الاختزال بزيادة نسبة غاز الأوكسيچين في الهواء اللافح الداخل للفرن هذا بالإضافة الى أنه عندما يستخدم الأوكسجين تقل نسبة النتروجين في هذه الغازات . وتتزايد بالتالى نسبة أول أكسيد الكربون بها ، ويتحسن الاختزال .

وحيث أن احتراق الكربون في مستوى ودنات نفخ الهواء الاختزال يولد حرارة ترفع درجة حرارة ناتج الاحتراق والمنطقة المحيطة ، الى مايسمى بدرجة حرارة بودقة الصهر النظرية ، ويمثل الفارق بين الحرارة المتولدة هذه والحرارة الحرجة لبودقة الصهر ، والتى يحتاجها الخبث المتكون ليكون في حالة سيولة ، كاملة والتى تعتبر مقياسا لقدرة الصهر بالفرن ، فإنه باستعمال هواء لافع يحوى نسبة من الأوكسيچين أعلى من ٢١ ٪ وبالتالى خفض نسبة النتروجين به ، يترتب عليه الإقلال من الحرارة الكامنة بالغازات الصاعدة عند درجة الحرارة الحرجة لبودقة الصهر ، ويتزايد هذا الفارق ، وتتحسن قدرة الفرن على الصهر ، كما أن إضافة الأوكسيچين تحسن من ظروف الاحتراق بالمنطقة أمام الودنات ، وبالتالى ترتفع درجة الحرارة في منطقة الأكسدة .

ولما كانت كمية ناتج الاحتراق لكل وحدة من الكربون ، تصبح أقل منها في الظروف العادية مما يتولد عنه خفض في حجم الغازات ، وبالتالى خفض سرعتها ، وكذا خفض فارق ضغط الغازات بين القمة ومستوى الودنات ، وعليه يتحسن التبادل الحرارى بين الغازات الصاعدة والشحنات الهابطة ، فيتحسن تجهيزها واختزالها ، مما يترتب عنه خفض درجة الحرارة للغاز عند القمة وغيير كبير في تحاليله -

وتتسبب كل التغييرات السابقة مجتمعة ، فى رفع إمكانية زيادة قدرة الفرن على الصهر ، أو إمكانية حقنها بالمركبات الهيدروكربونية ، وبالتالى تحقيق خفض فى معدلات استهلاك الكوك .

هذا فيا يختص بأوجه الاستفادة من حقن الأوكسيجين بالفرن العالى ، ولكن يقابل ذلك من ناحية أخرى ، بعض المعوقات ، يمكن تلخيصها فيا يلى :

١ ـ يتسبب تركيز الحرارة فى البوتقة وخفض منطقة الأكسدة ، فى ميل شحنة الفرن الى التعليق .

٢ ـ خفض كمية الحرارة الداخلة الى الفرن ، لخفض كمية النتروچين .

٣ ـ تنخفض درجة حرارة الغازات فى المستويات العليا من الأفران لانخفاض كمية الغازات المقابلة لوحدة الكربون المحترقة .

٤ ـ إرتفاع تكاليف الحصول على الأوكسيچين اللازم .

ولقد وجد أن إضافة الأوكسيچين وبالتالى رفع كمية الحرارة الفائضة ببوتقة الصهر ، يساعد كثيرا فى عمليات الحصول على بعض سبائك الحديد الخاصة ، كالفيرومنجنيز ، والفيروسيليكون ، وحديد السابك ، والتى يتطلب انتاجها اختزال بعض المعادن صعبة الاختزال ، والتى لايتم اختزالها عادة الا فى درجات الحرارة العالية ، فمثلا حققت زيادة الأوكسيچين بالهواء اللافح الى ٣٠,٥٪ زيادة انتاجية الفيرومنجنيز ، الى مايعادل ٩٠٪ من الإنتاج الأصلى وكذا زادت انتاجية الأفران لإنتاج الفيروسيليكون بنسبة ١٠٪ بزيادة الأوكسيچين الى ٢٦,٥٪ وتصل الزيادة حتى ٥٣٪ عند زيادة الأوكسيچين الى ٣٠٪ وينخفض معدل استهلاك الكوك عندئذ بما يعادل ١٦٪ .

أما فى حالة انتاج حديد المسابك ، فلقد زادت انتاجية الفرن بمقدار ١٥٪ وانخفض معدل استهلاك الكوك بمقدار ٣,٧٪ عند رفع كمية الأوكسيچين بالهواء اللافح الى ٢٥ ٪ .

ونظرا لزيادة التكاليف الناجمة عن ارتفاع تكلفة الحصول على الأوكسيچين مقارنة بالخفض المحدود من الكوك واتجهت التكنولوچيا الحديثة الى ربط استخدام الأوكسيچين باستخدام الغاز الطبيعى ، لتحقيق خفض فى معدل استهلاك الكوك ، وتعادل فى التكاليف .

(ج) ٢ ـ حقن الفرن بالمواد الهيدروكاربونية :

يؤدى كربون الكوك المشحون بالأفران العالية وظائف ثلاث رئيسية هى :

١ ـ توفير الطاقة الحرارية اللازمة نتيجة احتراقه بأوكسيچين الهواء اللافح .
٢ ـ الحصول على غاز أول أكسيد الكربون اللازم لعمليات الاختزال .
٣ ـ كربنة المعدن .

ونظرا لأن معدل استهلاك الكوك ـ وكما سبقت الإشارة ـ يلعب دورا رئيسيا فى تكلفة الإنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية ، ونظرا للتسابق المحموم الذى عم ـ ويعم ـ العالم فى مجال إنتاج الكوك الميتالورجى مما سبب اطراد تناقص الفحم الجيد القابل للتكويك ، مما يهدد مستقبل الصناعات الثقيلة ، فلقد عكف العديد من الباحثين والعلماء على إيجاد حل للمشكلة قبل تفاقمها ، وكان أن ظهر تكتيك حقن الأفران بالمواد الهيدروكربونية كوسيلة لاستبدال جزئى لكربون الكوك ، والاستفادة من الغازات المتولدة عن تحللها ، أهمها الهيدروچين فى عمليات الاختزال وبدأت عمليات حقن الغاز الطبيعى ، وغاز الكوك والمازوت ، تجتذب اهتمام الدول التى لم تمنحها الطبيعة مصادر لإنتاج الكوك الميتالورچى .

وتتم عمليات الحقن جميعها غالبا عن طريق ضغط المادة الهيدروكربونية خلال مواسير تدخل من فتحات جانبية بمواسير النفخ ، أو من فتحة نظارات الودنات ، إذ يساعد الهواء اللافح الداخل الى الفرن ، فى تذرير هذه المواد ، وبالتالى احتراقها فى مستوى الودنات وتستعرضها فيما يلى محددين الأثر الناتج عن استخدام كل نوع منها على حدة .

(ج) ٢ ـ ١ ـ حقن الفرن بالغاز الطبيعى .

يحوى الغار الطبيعى نسبة عالية من غاز الميثان (ك يد٤) والذى يتأكسد بأوكسيچين الهواء اللافح أمام الودنات ، الى الماء وثانى أكسيد الكربون ، اللذين لايلبثان فى وجود الكوك المتوهج ـ أن يختزل مخلفين غاز الهيدروچين ، وأول أكسيد الكربون ، ولما كانت الحرارة المتولدة فى هذه الحال أقل بكثير من الحرارة التى تنجم عن احتراق كربون الكوك ، فأنه يتبع هذا التفاعل ، أن تنخفض درجة حرارة منطقة الاحتراق ، وكذا درجة حرارة بوتقة الصهر ، لأن كمية الغازات المتولدة نتيجة التفاعل لكل وحدة كربون محترقة ، تتضاعف تقريبا . (فى احتراق ١ كجم كربون كوك ، يتولد ٤ر٥م٣ من الغاز وعند احتراق ١ كجم من كربون الغاز الطبيعى ، بتولد ٩,١١م٣٠١)

ولما كانت زيادة الغازات هذه سوف تتبعها زيادة فى سرعتها داخل الفرن ، وكذلك يتبعها زيادة فى فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر ، الأمر الذى يؤثر ولاشك فى مدى الاستفادة من الحرارة الكامنة بهذه الغازات فى تجهيز الشحنة الهابطة ، وكذا يؤثر على معدل

هبوط الشحنات ، وعلى مدى انتظام وتناسق هذا الهبوط ، تتضح ضرورة خفض معدل استهلاك الهواء اللافح ، عند حقن الغاز الطبيعي ، مع رفع درجة حرارته ، وذلك للحفاظ على درجة حرارة بوتقة الصهر وبالتالى على قدرة الفرن على الصهر.

ولقد وجد علميا ، أن درجة حرارة الهواء اللافح يجب أن ترتفع بما يعادل ٤ درجات لكل متر مكعب من الغاز الطبيعي لكل طن من المعدن ، وأن مقدار الهواء اللافح يعادل ٦٥ر١م٣/م٣ غاز ويبلغ هذا المقدار عند استعمال حقن الأوكسيچين بواقع ١,٣م٣/م٣من الغاز ، حوالى ٣,٨ م٣م٣غاز.

ويتم فى نفس الوقت ، وتحت نفس الظروف من الحرارة العالية ووجود بخار الماء وغاز أول أكسيد الكربون ، تفاعل هام يسمى تفاعل (الماء والغاز) على النحو التالى :

يد ا٢ + ك ا ——— يد٢ يد٢+ ك ا٢

مما ذكر آنفا ، يتضح أن الغازات الموجودة أمام الودنات عند حقن الغاز الطبيعي ، تحوى نسبة عالية من الهيدروچين وتنخفض تبعا لذلك نسبيا نسبة غاز أول أكسيد الكربون والنتروچين فى الغازات المتصاعدة ، ولما كانت للهيدروچين قدرة كبيرة على اختزال أكاسيد المعدن ، وأن ذلك يؤدى الى زيادة نسبة الاختزال غير المباشر بالفرن وتناقص الاختزال المباشر فإن التأثير على الميزان الحرارى للفرن ، سيكون ايجابيا ، وسيوفر زيادة فى الحرارة فى المستويات المنخفضة من الفرن ، وبالتالى خفضا فى استهلاك الكوك ، وزيادة فى كفاءة تشغيل الفرن ، والتى يؤثر عليها فى نفس الوقت عاملان متضادان فى التأثير ، أحدهما يزيد من هذه الكفاءة كنتيجة لانخفاض الكوك المستهلك والآخر يقلل من هذا الاثر نتيجة انخفاض قدرة الفرن على الصهر ولذا فإن إضافة الغاز الطبيعي بمعدل ٧٥٪ الى ١٣٥ م٣ / طن من المعدن يرفع من كفاءة الفرن بنسبة ٩ر٢٪ فقط وهذه النسبة ترفع بقدر كبير عند حقن الأوكسيچين والمازوت معا للأسباب المذكورة من قبل لتصل بنفس معدل حقن الغاز وبإضافة ٥٠ م٣° طن من الأوكسيچين إلى ٩٪ ويلازم ذلك خفض فى الكوك المستخدم بما يعادل ١٦ - ١٧ ٪

ومن الحديث السابق ، يتضح أن حقن الغاز الطبيعي البارد فى الكوك يؤدى الى استهلاك كميات كبيرة من الحرارة (٢٥٠٠ كالورى/م٣ من لميثان) نتيجة تحلله ورفع درجة حرارة ناتج التحلل الى درجة حرارة المنطقة ولهذا فلقد فكر الباحثون فى تسخين الغاز قبل حقنه لدرجة لاتتعدى ٦٠٠م°) حتى لايتحلل الميثان الى كربون وهيدروچين ، ثم حقنه بعد ذلك ،

الأمر الذى مكن من زيادة الكمية المحقونة بما يعادل ٠,٥٪ من حجم الهواء اللافح المستخدم ، ولقد وجد أخيرا أنه من الأفضل رفع درجة حرارة الهواء اللافح ، بدلا من تسخين الغاز الطبيعى .

غاز الكوك :

تتولد عن عملية التقطير الإتلافى للفحم بمصانع الكوك كميات كبيرة من غازات الكوك .ومن تحاليلها ، نجد أنها تحوى نسبة عالية من الهيدروجين الحر والمتحد ، ولهذا ، ولنفس الأسباب المذكورة التى دعت الى استخدام الغاز الطبيعى بالأفران نشأ اتجاه حديث يرمى الى حقن هذه الغازات بالفرن العالى ، غير أنه لانخفاض نسبة الميثان فى غاز الكوك ، فإن هذا الغاز يحتاج الى حرارة أقل لتفتيته ولهذا فعند حقنه بالأفران ، فإنه يمكن استخدام هواء لافح بدرجة حرارة أقل ، ولا يتعدى رفع درجة حرارة الهواء اللافح لمقابلة احتياج حقن غاز الكوك أكثر من ١٥ الى ٢٠° لكل ١٪ من الغاز .

ولما كانت كمية الهيدروجين بغاز الكوك تبلغ تقريبا ربع الكمية الموجودة بالغاز الطبيعى ، فإن مدى استغلال الهيدروجين فى هذه الحالة ، أقل من سابقه .

ويعترض عملية حقن الأفران بغاز الكوك ، صعوبات خاصة بتخليص الغاز من بعض المركبات كالنفتالين ، وذلك حتى لايتسبب فى تكوين الخبث عند نهاية مواسير نفخ الغاز بالإضافة الى ضرورة رفع ضغطه قبل الاستعمال .

وعلى ذلك فقد قللت هذه المتاعب من الحماس الذى صاحب حقن غاز الكوك فى بداية تشغيله حتى إن الاتحاد السوفيتى لم يجرب هذا الاتجاه الا فى مصنع واحد ، هو مصنع كوزنيتسك ولقد أثبتت نتائج التجربة أن حقن كمية من الغاز تصل الى ٦٨م^{3} /طن من الحديد ، قد رفع إنتاجية الفرن بنسبة ٤,٢٪ ، وخفض معدل استهلاك الكوك بنسبة ٩,٦٪ وكانت قيمة الإحلال حوالى ٠,٦١ كجم كوك/م^{3} من الغاز .

حقن الأفران العالية بالمازوت :

منذ عام ١٩٥٧ بدأت بعض الدول المتقدمة فى حقن الأفران العالية بالمازوت ، وتحمست شركات البترول ، بإمكانيات البحث الكبيرة المتاحة لها ، لتطبيق هذا الاتجاه الحديث وتعميمه . ونتيجة لذلك ، أمكن حقن المازوت فى أمريكا ، وانجلترا ، وفرنسا ، واليابان ، وألمانيا ، والاتحاد السوفيتى ، وكانت أولى تجارب الاتحاد السوفيتى بمصانع ماجنيتوجورسك عام ٩٥٨ . . الخ وقد لاق هذا الاتجاه الحديث رواجا كبيرا فى البلدان التى لم يتوفر فيها

الغاز الطبيعى ، وفى جمهورية مصر العربية ، تم إدخال حقن المازوت بأفران شركة الحديد والصلب فى عام ١٩٦٦ .

وفى بدء تجارب الحقن ، كان المازوت يدخل فى مواسير الهواء الساخن ، ومنها الى الفرن ، غير أن عدم الاطمئنان الى سلامة وتناسق التوزيع ، أدى الى التفكير فى حقن المازوت عن طريق مواسير خاصة ورشاشات ، تساعد على عملية التذرير وتكوين نهايتها عند مسافات معينة من نهاية الودنات حتى لاتتأثر مياه تبريد الودنات والمبردات ، بالحرارة الناجمة عن احتراق المازوت .

- ولقد اختلفت الكميات المحقونة باختلاف أماكن التشغيل ، وطاقة الأفران وكميات هواء النفخ ، ودرجة حرارة الهواء اللافح المستخدم ، وكانت معدلات الاحلال ومؤشرات الأداء متباينة ، نظرا لاختلاف ظروف التشغيل بكل مصنع ، كما هو موضح بالجدول التالى :

المؤشرات	مصانع اللاتحاد السوفيق				المصانع الأمريكية	مصنع حلوان ج. م. ع.
	تشيكوف	زياروجيا	شيروبيوفيتش	ماجيناجورسلف		
كمية المازوت كجم / طن من المعدن	٨٠	٥٦	٣٠	٢٠ ـ ٣٠	٣٤	٦٠ ـ ٧٠
زيادة درجة حرارة الهواء	١٠٧°	٢٩	٧٠	-	٦٠	٤٠
نقص معدل استهلاك الكوك	١٦,٥٪	٩,٥٪	٩,٧	٨,٧		
زيادة الانتاج						
نسبة الاحلال كجم / كوك لكل كجم مازوت	٥٧٨٪	١,٤٦	٢,٥	,٥ ـ ,٨	٢,٢	١,٣ ـ ١,٦

ورغم ارتفاع نسبة الكبريت بالمازوت عامة، إلا أن هذا الكبريت الذى يبلغ من ١٠ إلى ٢٠ مرة قدر كمية الكبريت التى تضاف عن طريق الكوك المشحون لاتتسبب فى رفع نسبته فى الحديد الزهر المنتج بالقدر الملحوظ، ممايدل على ان الكبريت المضاف فى هذه المنطقة المرتفعة الحرارة، يتأكسد الى غاز ثانى أكسيد الكبريت، ويغادر مع الغازات الخارجة، أو مع الخبث متحدا بمكوناته.

ولقد لوحظ من استخدام المازوت مع شحنات مختلفة للأفران، أن نسبة الإحلال تتناسب ومدى تجهيز وكفاءة الشحنة المستخدمة تناسبا عكسيا كما أن هذه النسبة ترتفع مع معدلات الإستهلاك القابلة من المازوت.

حقن الأفران العالية بالمواد الصلبة:

لم تقتصر عملية حقن الأفران بإضافات للتأثير على اقتصاديات التشغيل بها وتطويرها على إستخدام المواد السائلة أو الغازية كما ذكر آنفا، ولكن تعداها الى الحقن للمواد الصلبة، بعد طحنها كمساحيق أو على هيئة وحل، ونذكر كمثال مايلى:

١ ـ حقن الأفران بالوقود الصلب:

بالنظر الى ارتفاع أسعار الكوك الميتالورجى، وإلى توافر بعض أنواع الفحم التى لاتصلح لعمليات التكويك، ولما كان جزء من الكوك المستخدم بالأفران، يستخدم بغرض توفير الطاقة الحرارية اللازمة فإن اتجاها ظهر وتمت تجربته يهدف الى استبدال جزء من الكوك المستغل لتوليد الطاقة الحرارية، وذلك بأحراق كربون هذه الفحومات التى يتم طحنها الى مساحيق تحقن من الودنات مباشرة، الى منطقة الصهر، ولما كان الكوك المشحون يصل الى هذه المنطقة من الفرن بدرجة حرارة عالية، فإن حقن الوقود الصلب يتبعه رفع درجة حرارته الى هذه الدرجة، الأمر الذى يؤدى الى خفض معدل الإحلال إذ أن جزءا من الوقود المحقون سوف يستغل لهذا التسخين، ولهذا نجد أن معدل الإحلال ٥٠٪ فى الاتحاد السوفيتى و٤٠٪ فى المانيا الغربية، ولايزال هذا الأمر موضع أبحاث للتطوير، ولم يطبق بصورة أكثر شمولا، نظرا لبعض المتاعب الخاصة بتصميم المعدات، ويفكر بعضهم حاليا، فى الجمع بين المازوت والكوك معا عند الحقن.

حقن الأفران بالجير:

إن موضوع حقن مسحوق الجير بالأفران، دعا اليه المشتغلون بالأفران، لتلافى مايسببه

وجود الحجر الجيرى فى شحنة الأفران من زيادة استهلاك الكوك ومن التأثير على معدلات هبوط الشحنات وتناسقه ، وكذا على عملية تكوين الخبث المبدئى ، بالإضافة الى الرغبة فى تحسين عملية التخلص من الكبريت العالى بالمعدن . إلا أن التكنولوجية الحديثة ، التى تدعوا الى التوسع فى استعمال اللبيد المتوازن ، قللت من الاهتمام بهذا النوع من الحقن ، خاصة وأن التأثير على إزالة الكبريت لم يكن فعالا بالأفران التى تمت بها التجربة فى الولايات المتحدة ، وعليه لاتلق العملية حاليا إهتماما كبيرا .

(د) ميكنة الأفران ومعدلاتها وعملياتها :

تميز العصر الحديث بالبحث الدائم الهادف لتحسين جودة الإنتاج فى مختلف القطاعات الصناعية وتطوير الاقتصاديات للعمليات الإنتاجية وإبعادها ماأمكن عن العوامل التى تؤثر فى منتجها ومن هذه المؤثرات ، تلك التى تنجم عن اختلاف الخبرات ، ومدى التجارب ، واتخاذ القرارات لدى العاملين ، وعليه بدئ فى تحليل العمليات الإنتاجية ، وربطها بعضها بالاخر تبعا لنتائجها التى تترتب عنها مؤثرات معينة يمكن استخدامها كإشارة بدء لإتمام بعض التغيرات فى عمليات التشغيل ، والتى تتم حينئذ أتوماتيكيا .

وكانت لزاما ولا شك ، أن يأخذ المهتمون بتطوير عمليات الأفران العالية بالاتجاه الحديث فحددوا لإتمام ذلك اتجاهين هما :

١ ـ ميكنة خطوات التشغيل .

٢ ـ ميكنة معدات تشغيل الأفران العالية .

ونورد فيما يلى بعض الأمثلة لميكنة خطوات التشغيل :

التحكم فى عمليات شحن الأفران العالية :

تستخدم فى عمليات إمداد شحنات الفرن من الخامات المشونة فى الصوامع ، عربات ميزان ، يتم بواسطتها تجميع مكونات الشحنة حسب وزن كل منها ، والمحدد من قبل ، وبالترتيب الذى يحدد وضعها بعدئذ بالفرن ، لتفرغ فى عربات الشحن ، ويقوم عامل أو أكثر ، بتشغيل هذه العربات تحت ظروف ضارة بالصحة ، وبالتالى بنفسية العامل ، وربما يترتب على ذلك أخطاء فى وزن المكونات المختلفة ، مما تنجم عنه أضرار جسيمة بالتشغيل ، واذ كانت لم تتم حتى الآن امكانية ميكنة هذه العربات ، فقد انتشر حاليا تطور جديد ، يهدف الى استخدام السيور الناقلة التى يسهل التحكم فيها أوتوماتيكيا ، وبما يضمن تلافى

مثل هذه الأخطاء إذ تتحرك هذه السيور فتجمع المكونات بالوزن المحدد لتنقله الى عربات شحن الفرن ، وتعمل هذه المعدات بكفاءة عالية فى العديد من المصانع ، مثل مصنع كريفوى روج ، وكوزيتسك ومجنيتوجورسيك ، بالاتحاد السوفيتى ، وأفران الحديد بالمصانع الجديدة للحديد والصلب وقد استغنت بعض بلدان العالم عن استخدام عربات الشحن نهائيا ، بحيث أصبحت الأفران تشحن بالسيور مباشرة ، وكما هى الحال فى مصنع موتوراند باليابان .

التحكم فى عمليات بوتقة الصهر:

يمكن بالتغيير فى كميات هواء النفخ بالودنات ، إحداث العديد من التغييرات بمنطقة الصهر ، ومما يستلزمها تحسين الأداء ، ولقد وجد أن عدم انتظام هبوط الشحنات ، أو عدم تناسق حجم المشحونات ، يؤدى الى عدم انتظام عملية الصهر ، وحتى يمكن تجنب ذلك ، يجب التحكم فى توزيع الهواء اللافح على الودنات ، او بذلك يمكن أيضا توزيع أية إضافات من الغاز الطبيعى أو الأوكسيچين أو المازوت ، بما يناسب هذه الكمية لكل ودنة ، ويتم ذلك بتركيب فلنشة متحركة فى الكوع الكبير ، ولكل ودنة لقياس كمية الهواء المستهلك بها ، كما يوجد بكل كوع ، صمام خانق للتحكم فى الكمية المسموح بمرورها ، وتنتقل هذه القياسات إلى أجهزة التسجيل ، ثم الى العقول الإلكترونية ، فتصدر هذه إشارات كهربائية الى البلوف المختلفة التنسق هذه بين الكميات المستهلكة بالودنات ، والكميات اللازمة للصهر ، فإذا زادت الكمية المسجلة المقابلة على المقدار المحدد ، كان ذلك إيذانا ببدء تكوين مناطق تقل بها الإضافات المحقونة ، والعكس ومن ثم تتدخل العقول الالكترونية فى إعادة التوزيع وهكذا .

التحكم فى فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر:

يتطلب نظام هبوط الشحنات داخل الفرن ، وجود فرق محدد لكل فرق بين ضغطى الغاز بالقمة ، وضغطه فى بوتقة الصهر ، فإذا حدث وقلت المسامية للشحنات ، بحيث أصبحت تعترض مرور الغازات ، تعطى الإشارة الأوتوماتيكية لتخفيض كمية النفخ ، أو تخفيض درجة حرارة الهواء اللافح ، للتغلب على ذلك وكذلك فإنه انخفض الضغط عند بوتقة الصهر ، أعطيت الإشارة لرفع درجة حرارة هواء النفخ ، أو زيادة كميته أما إذا انخفض الضغط بالقمة أعطيت الإشارة لتعديل نظام الشحن ، أو توزيع الشحنات .

ميكنة عملية توزيع الشحن بأعلى الفرن :

وقد تمت ميكنتها بطريقتين :ـ

١ ـ قياس درجة حرارة غازات الأفران الصاعدة الى جوار جوانب الفرن ، من ثمانى نقط قياس موزعة على مقطع الفرن وفى أعلاه ، حيث ترسل هذه بعد ذلك هزات كهربائية الى موزع شحنات تتحكم فى دورانه ، ثم فى فتح الجرس الكبير . فتهبط الشحنة فى المكان الذى ترتفع فيه درجة الحرارة أكثر من زميلاتها ، وهكذا بما يضمن دواما حسن توزيع الشحنة ، ومسار الغازات الصاعدة

٢ ـ قياس درجة حرارة الغازات الصاعدة على أبعاد مختلفة من منتصف الفرن ، وعلى قطر معين ، وبالتالى تخرج الاشارة لتغير من نظام الشحن ، بما يكفل حسن توزيع المشحونات على سطح قطاع الفرن .

التحكم فى حالة الفرن الحرارية ، بالهيمنة على التوازن الحرارى بأجزائها المختلفة :

بتحليل غاز القمة ، ومعرفة نسبة غاز أول وثانى أكسيد الكربون ، ومتابعة التغييرات التى تحدث لها ، يمكن الحكم على مدى نشاط الاختزال المباشر أو غير المباشر وبالتالى التكهن بما ستصبح عليه حالة الفرن الحرارية بعد فترة من الزمن . لأن الزيادة فى نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، والتى لا يقابلها نقص مماثل فى نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون ، تكون دليلا على تزايد الاختزال المباشر . الذى يمتص طاقة حرارية ، ولذلك يجب زيادة معدل استهلاك الكوك بالفرن ، أو رفع درجة حرارة الهواء اللافح ، لمقابلة هذا الاحتياج ، قبل أن يتسبب ذلك فى برودة منطقة الاختزال المباشرة أما إذا كان تغيير نسبتى الغازين بنفس القدر « زيادة غاز أول أكسيد الكربون » = الخفض فى غاز ثانى أكسيد الكربون) كان ذلك دليلا على تغيير الاختزال غير المباشر ، وبالتالى ما يتبعه من تغيير حرارى بالفرن .

وقد تم تركيب مثل هذه الأجهزة بمصانع هولندا (أكميدون) ، واليابان (نيبون كاكان) ، وفى روسيا (دنيبروزرجنسك) .

كل ما ذكر آنفا ، يعتبر أمثلة لميكنة خطوات التشغيل بالأفران العالية ، أما ميكنة الأفران العالية نفسها أو معداتها ، فلقد أمكن ، وبنفس الأسلوب ، الربط بين النتائج التى تسجلها أجهزة القياس والمراقبة بالفرن ، والتى تسجل حاليا باستخدام أجهزة الحاسبات

الإلكترونية ، التي تقوم بتحليلها ، وتقوم على الفور بالإبلاغ عن أى عدم انتظام أو اختلال فى أداء الوحدة ، ومن ثم تتولى إصدار تعليمات محددة ، فى صورة إشارات كهربائية ، إلى الأجهزة المساعدة ، محددة نوع التغييرات فى الشحنة ، أو كمية الهواء اللافح ، أو نظام الشحن . . . الخ .

وفيما يلى بعض هذه المعدات ، التى أمكن تشغيلها آليا ، وهى : موزع الشحنات الدائرى ، وبعض أجهزة الشحن ، وأجهزة التحكم فى كمية الرطوبة فى الهواء اللافح وفى درجة حرارة الغاز بالقمة ، وبلوف الهواء بالكوابر ، والتغيير من وضع التسخين إلى وضع النفخ بالمسخنات .

ولا يزال العلماء يتطلعون إلى المزيد من الربط بين عمليات الأفران ، والأجهزة التى تقوم بأدائها ، فى محاولات لمساعدة العاملين فى اتخاذ القرارات فى الوقت المناسب ، كمحاولة التغلب على اختلاف تحليل الخامات المستخدمة وأحجامها ، والتى مهما كانت عمليات التجهيز متكاملة ، فلن يمكن القضاء عليها نهائيا .

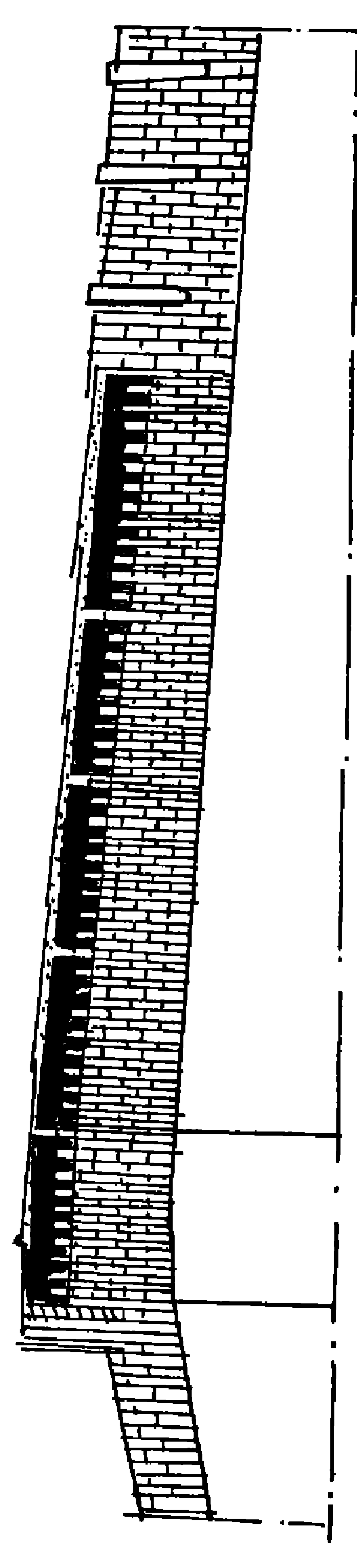
(هـ) معالجة العيوب التى اكتشفت بتصميم الفرن أو معداته :

فى مجال الحديث عن تطور فن تشغيل الأفران الالية ، ونظرا لضيق المجال والمكان ، فإنه لا يسعنا إلا أن نلخص فيما يلى ، بعضا من التحسينات والتعديلات التى أضيفت إلى الأفران أو الوحدات المساعدة ، بحثا وراء الوصول بها إلى أعلى كفاءة أداء .

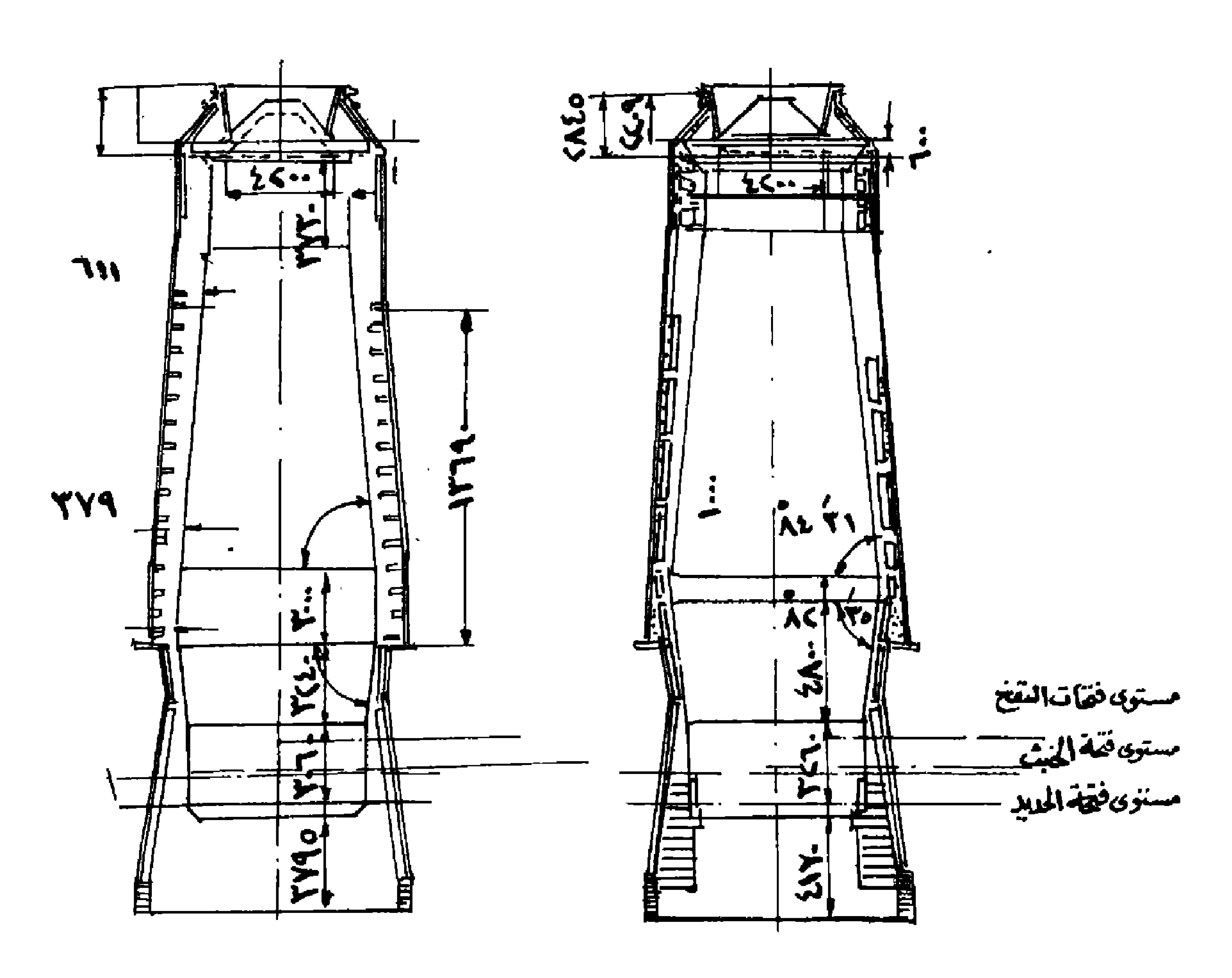
١ ـ تبريد الطوب المبطن للفرن :

نظرا لما يتطلبه الحفاظ على شكل « بروفيل » الفرن الداخلى ، وبالتالى ضرورة المحافظة على سلامة الطوب الحرارى المبطن بالفرن ، خاصة بمنطقة المخروط العلوى ، فقد ادخل نظام تبريده الشكل (٥١) .

وقد تعددت أشكال وتصميمات معدات التبريد المستخدمة ، ولكنها تتلخص فى استخدام مبردات أفقية أو رأسية ، نظرا لما لكل من النوعين من عيوب . فلقد أدخل حاليا نظام جديد يجمع بينهما أنظر الشكل (٥٢) ، وبه أمكن تحقيق تشغيل منتظم للفرن ، وامتنع تعليق الشحنات ، وتحسين توزيع الغازات على مقطع الفرن ، وأمكن الحفاظ على البطانة نسبيا فقد وجد بحالة جيدة بعد ثمانى سنوات من التشغيل فى أحد افران الاتحاد السوفيتى ، حيث تم تركيب هذا التصميم الحديث للمبردات بها ، الشكل (٥٢) .



شكل رقم (٥١) تبريد مباني بطانة الفرن باستخدام المبردات داخل المباني وصناديق التبريد المكشوفة



شكل (٥٢) تبريد بطانة الفرن باستخدام المبردات المكشوفة أو المبردات داخل المبانى

٢ ـ تبريد مبانى قاعدة الفرن :

يتآكل الطوب المبطن لبوتقة الصهر ، نتيجة تأثير المعدن الملامس له ، وقد يستفحل التآكل ، ويتسبب فى كثير من الأضرار ، ويمتد فيؤثر على الطبقات التى تلى القاع ، ليصل حتى القاعدة الخرسانية للفرن . ولقد أدخل نظام تبريد ، باستخدام الهواء الجوى المضغوط والماء ، بما يسمح لها بالمرور خلال مواسير خاصة ، توضع فى نهاية الطوب الكربونى المبطن لقاع بوتقة الصهر ، بهدف تبريد المناطق التى تعلوها ، وبالتالى الحد من سرعة تآكلها ، والحفاظ عليها .

ولقد تم تطبيق ذلك فى العديد من الأفران الحديثة بالاتحاد السوفيتى واليابان ، وثبتت فاعليتها ، إذ أصبحت حرارة الطوب فى أحد الأفران بمصنع كوفتشتا روسك الروسى ٣٤° م على بعد ٠,٩ متر أعلى المواسير ، بعد أن كانت ٤٤٠ درجة مئوية . ونتيجة لذلك ، أمكن تخفيض سمك مبانى قاع بوتقة الصهر .

٣ ـ تبريد بلوف الهواء الساخن والودنات بالتبخير لماء التبريد :

وتستخدم هذه الطريقة فى التبريد ، فى المصانع التى بها عجز فى مصادر المياه ، أو التى تحوى مياهها أملاحا ، أو تكون مياهها من النوع العسر بعد تنقيتها كيميائيا ، إذ يستغل تحويل ماء التبريد إلى بخار ، وما يتطلبه ذلك من كميات كبيرة من الحرارة ، فى تبريد جسم بلف الهواء الساخن (غير أن الطريقة لا تزال تحت التجربة) ، ويؤدى ذلك إلى إنتاج كميات كبيرة من البخار اللازم لباقى وحدات المصانع ، ولقد تمت تجربة استخدام هذه النظرية فى تبريد الودنات بمصانع ماجنيتوجورسك الروسى ـ ولا تزال تحت التجربة أيضا ـ وأدى ذلك إلى تخفيض استهلاك المياه الصناعية بما يعادل ٧٠٪ .

التحكم فى فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر :

يتطلب نظام هبوط الشحنات داخل الفرن ، وجود فرق محدد لكل فرق بين ضغطى

٤ ـ استخدام مجارى الحديد المتحركة :

ويتم فى هذه الحالة ، وضع بوادق على خط سكك الحديد الداخلية المجاور لمبانى صالة الصب . ثم توضع بوتقة أمام مصب المجرى الأولى لمجارى الحديد أو الخبث ، على خط مجاور للخط الأول ، ويصب المعدن بعدئذ لملأ بوتقة الحديد الأولى ، وقرب امتلائها ، يتحرك

مجرى مركبة على ذراع مثبت بقاعدة مبانى الصالة ، ليصبح على استقامة المجرى الأصلى ، وتتلق المعدن الساقط من مجارى الصب ، لتحويله إلى البوتقة المقابلة الموجودة على الخط الاحتياطى ، ويبدأ فى سحب بوادق الحديد ، وضبط بودقة جديدة ، تحت مزراب الصب ، **وعندئذ يغير وضع المجرى المتحرك ، فينساب المعدن فى البودقة الثانية ليملأها ، وهكذا حتى نهاية الصب ، ولقد كانت هذه الطريقة ، سببا فى تخفيض استهلاك كمية رمل المسابك والطينة الحرارية اللازمة لتبطين مجارى الحديد إلى ٢٥٪ من الأصل ، وكذا قللت من جهود العاملين فى النظافة ، وإعادة التبطين .**

٥ ـ استخدام ودنات نفخ إضافية :

فى الفرن الأول بمصنع زباروجيا ، حيث ينتج الفرن فيرومنجنيز ، ونظرا للحاجة إلى درجات حرارة عالية ببودقة الصهر ، فقد جهز الفرن بثلاث ودنات إضافية ينفخ من خلالها الهواء اللافح الغنى بالأوكسيجين ، وبالتالى يتحسن الأداء . وهذه طريقة يرى الكثيرون صلاحيتها ، إذا لزم الأمر ، لإنتاج فيرومنجنيز بالأفران الكبيرة ، وحتى لا تتكون رواسب ببودقة الصهر ، الشكل .

٦ ـ تطوير عملية نقل المعدن السائل :

ويتم حاليا استخدام بوادق خاصة فى نقل المعدن من الأفران إلى الصلب ، ويتطلب ذلك صيانات القاطرات ، وقضبان السكك الحديدية ، والبوادق ، والأوناش ، الخ . من المعدات اللازمة . وبحثا عن الوفر في الجهد فى العمالة وفى التكاليف ، مع تحقيق الحفاظ على درجة حرارة المعدن من الأفران حتى الصلب ، تتجه بعض الدول حاليا ـ وخاصة الاتحاد السوفيتى ـ إلى إيجاد وسيلة أخرى للنقل بالأنابيب من الأفران إلى قسم الصلب . وتتم تجربة هذا النظام فى مصنع سيارات موسكوفتش ، حيث ينقل ناتج الكيوبلا إلى المسبك ، باستخدام مجال كهربائى مغناطيسى لتوجيه المعدن ، وحيث لا يتأثر الخبث المرافق له والذى يمكن فصله ، وعموما ، هنالك اتجاه عام للإقلال من عمليات النقل الداخلى بالمصانع .

وفى سبيل الإقلال من عمليات النقل بين الأفران والصلب ، وتحسين المحافظة على حرارة المعدن ، لجأت غالبية الدول ، إلى زيادة سعة البوادق المستخدمة ، وتطوير أشكالها (الطوربد) ، والذى تصل سعة بعض وحداته إلى ٤٥٠ طنا حاليا ، ويستخدم مع الأفران الكبيرة .

٧ ـ استخدام الأفران العالية ذات الصب المستمر :

بالنظر إلى التحسين المستمر فى تشغيل الأفران العالية ، وابتغاء الاقتصاد فى النفقات والعمالة خاصة ، وسعيا وراء تحقيق إنتاج أكبر وأكبر من الصلب فى جميع دول العالم ، فإن حجم الأفران العالية تزايد ، حتى أصبحت بعض الدول تمتلك أفرانا بأحجام تصل إلى ٤٥٠٠م٣ ، ونظرا لزيادة كفاءة استغلال الحجم الفعال للأفران ، نتيجة زيادة قدرتها على الصهر ، والتمكن من السيطرة تماما على العمليات بها ، فإن هذه الأفران ستنتج يوميا ما يزيد على ٩٠٠٠ طن ، ولما كان ارتفاع بوادق الصهر ، والمسافة بين مستوى الودنات ومستوى فتحة الخبث وبين المستوى الأخيرة وفتحة الحديد ، مسافات محددة ، ولا يمكن تجاوزها فى التصميم الأصلى ، دون الإضرار بعتمليات الفرن ، أصبحت الأحجام التى يتجمع بها كل من الخبث أو المعدن ، أقل بكثير من المطلوب فى حالة التشغيل العادى ، مما يستلزم دوام الاضطرار إلى فتح فتحة الحديد على فترات زمنية صغيرة ، الأمر الذى يؤثر فى تماسكها ، ويؤدى إلى انهيارها . ولذا لجأ المصممون إلى تزويد الأفران الكبيرة بفتحتى خبث أو ثلاث ، يسحب الخبث منها على التوالى ، ولجأ بعضهم إلى تزويد الفرن بفتحتى حديد ، ما أن تنتهى الصبة بإحداها ، حتى يصب الفرن من الفتحة الأخرى ، بمعنى تزويد الفرن بصالتى صب (فى العادة صالات مشتركة مع أفران مجاورة) . وبهذا يكون الصب بالأفران هذه ، قد تطور إلى الصب المستمر .

٨ ـ تجهيز شحنة الفرن :

يطول الحديث إذا ما تعرضنا تفصيلا إلى الآثار المترتبة على إعداد ، وتجهيز ، وتجنيس ، واختبار شحنة الفرن ، غير أنه يمكن تلخيص ذلك ، فى أن ما سبق حققته أية دولة من دول العالم المتقدمة فى مجال زيادة الانتاج وخفض التكاليف ، كان مرجعه إلى الإعداد الصحيح والسليم لشحنة الفرن العالى . وفى هذا المضمار ، وسعيا وراء تحقيق هذا الهدف . تم تطوير عمليات التجنيس وعمليات النخل والطحن . . الخ . وفى اليابان ، يطحن خام الحديد ، ثم يقسم إلى ثلاثة أحجام كالآتى :

ـ الخام بحجم ٢٥ ـ ٤٠ سم ، يشحن بالفرن مباشرة
ـ الخام بحجم أقل من ٢٥ ـ يطحن ثانية ويستغل كالآتى :
(ا) الخام بحجم ٣ مم ـ ١٠ مم للتكوير والتطويب
(ب) الخام بحجم أقل من ٣ مم للتلبيد

ثم تشحن هذه الخامات بنسب محدودة فى الفرن لتضمن مسامية معينة وتضمن تحاليل مناسبة للمعدن المنتج .

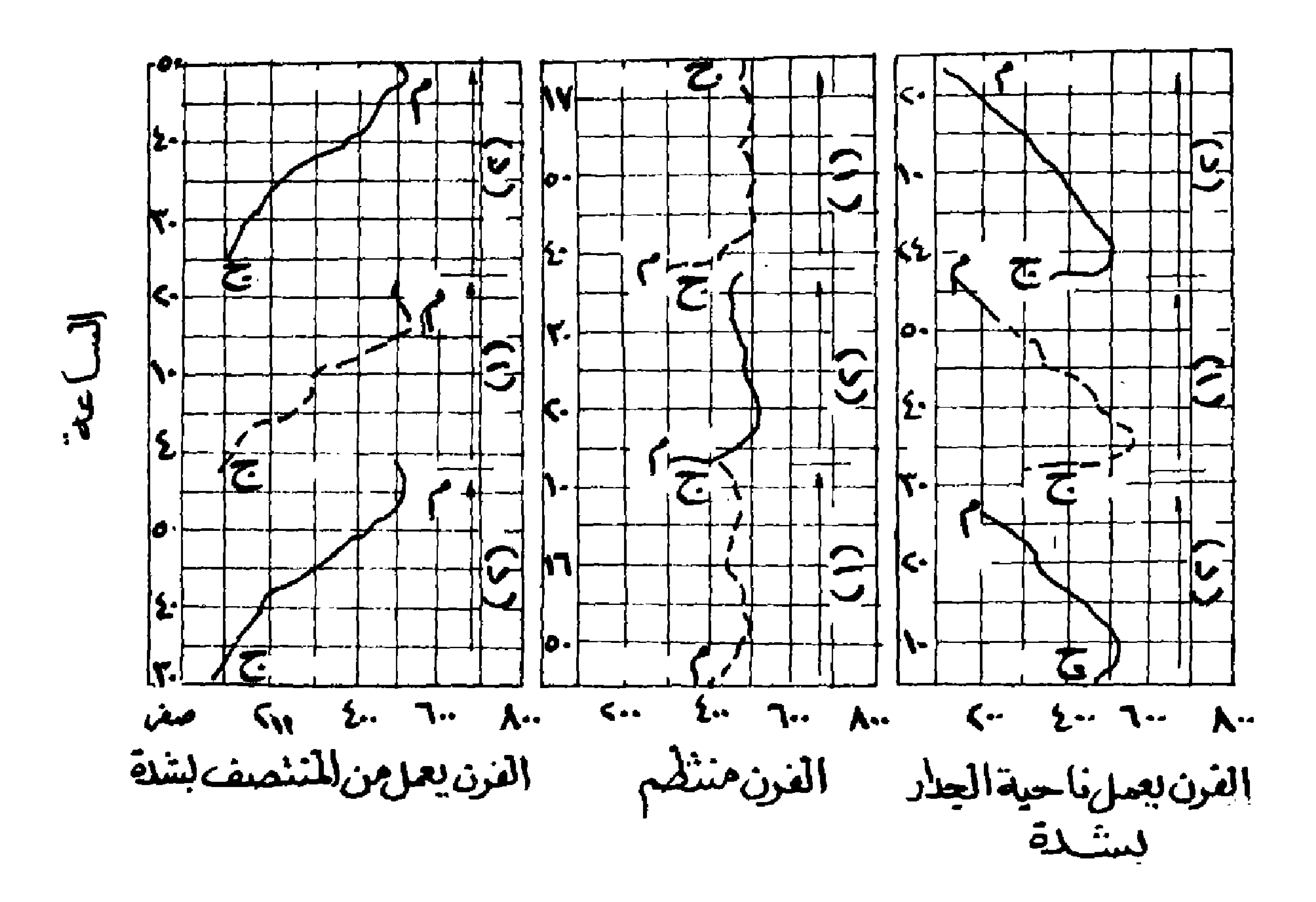
والأمثلة على مدى ما تبذله الدول فى هذا المجال كثيرة ، فمنها من يهتم بعمليات النخل ، ومنع شحن أحجام أقل أو أكثر من حجم معين ، وبعضها يلجأ إلى شحن اللبيد فى درجة حرارة مرتفعة نسبيا ، لتحسين اقتصاديات الكوك والتلبيد . . الخ .

٩ - زيادة إحكام مراقبة الأفران :

الأفران العالية ، من الوحدات الإنتاجية التى تكون دائرة تشغيل مغلقة ، بمعنى أنه لا يمكن مشاهدة ما يجرى بداخل الفرن ، وفى المناطق المختلفة فيه ، ولهذا تجهز الأفران بالعديد من أجهزة القياس الدقيقة ، التى يختص كل منها بمهمة معينة ، تظهرها على لوحات التسجيل ، ليقوم العاملون بتحليلها ، والربط بينها ، بهدف معرفة مجريات العمليات المختلفة ، وفى سبيل ذلك ، تجهز الأفران بازدواجات حرارية فى مستويات متعددة ، لقياس درجة **حرارة الغازات ، وأخرى لقياس درجة حرارة المبانى المبطنة للفرن أنظر الشكل (٥٣) كما تستعمل لنفس الهدف ، النظائر المشعة ، التى توضع على أبعاد مختلفة فى مستوى واحد ، ثم تكرر فى مستويات أخرى . وكما تستخدم النظائر المشعة لقياس عمق الشحنة . . إلخ . هذا ، وفى سبيل زيادة المعرفة ، تزود الأفران بأجهزة خاصة ، تمكن من الحصول على عينات من الغازات الصاعدة فى الفرن ، لتحللها ، حتى يتسنى معرفة ما يدور بداخل الفرن ، وهكذا نجد أن الاتجاه الحديث ، هو وضع أجهزة قياس فى الأفران ، بحيث توضح نتائجها ما يخفى عن العين من عمليات .**

تطبيق اتجاهات التشغيل الجديدة بافران التوسعات بالحديد والصلب :

رغبة فى مسايرة العصر الحديث ، وبناء الدولة الصناعية المتقدمة ، وإرساء قاعدة الصناعات الثقيلة والصناعات الهندسية المعتمدة عليها ، قامت جمهورية مصر العربية بتنفيذ مشروع التوسعات بمصانع الحديد والصلب ، لزيادة طاقتها الإنتاجية إلى ١,٧٥ مليون طن من الصلب الأكسجينى والكهرباء . ويحتاج ذلك إلى مثل هذا الرقم من الحديد الزهر ، الذى سوف ينتج من الأفران الحالية ، بعد تطويرها ورفع كفاءتها ، بالإضافة إلى فرنين جديدين ، حجم كل منهما ١٠٣٢ م بإنتاجية قدرها ١٩١٥ طن / يوم / الفرن . ولا شك أنه لتحقيق هذا الإنتاج ، كان من المحتم أن يتمسك الجانب العربى بتجهيز الأفران الجديدة



ج : عند جدار الفرن

م : عند منتصف الفرن

درجات حرارة الغاز م°

شكل رقم (٥٢) —

يبين درجة حرارة الغازات على أبعاد مختلفة عند مستوى القياس وعلاقتها بتشغيل الفرن

ومعداتها ، بأحدث ماو صل اليه تطويرها ، والتي تكفل تطبيق الاتجاهات الحديثة فى فن تشغيل الأفران . ولقد قام الجانب السوفيتى (المورد) من ناحيته ، بتحقيق هذه الرغبات جميعها . و نستعرض فيما يلى وبإيجاز ، الاتجاهات الحديثة التى ستطبق فى الأفران العالية :

١ ـ الاهتمام بتجهيز شحنة الفرن ، واستخدام اللبيد المتوازن ، مع المحافظة على تذبذب تحليل هذا اللبيد فى أضيق الحدود (٠,٥٪) للحديد والسيليكا .

٢ ـ قصر عدد الخامات الحديدية المستخدمة بالأفران العالية على واحد فقط ، بد لا من عددها البالغ فى الأفران الحالية سبعة خامات ، وبالتالى ضمان تناسق الشحنة .

٣ ـ فصل نواعم اللبيد التى تقل عن ٨ مم قبل شحنها بالأفران مباشرة ، وبالتالى القضاء على تأثير النواعم السيء ، وضمان حسن مسامية شحنة الفرن . وتقدر الزيادة فى الإنتاج نتيجة غربلة اللبيد بحوالى ١٠٪ من الإنتاج العادى للفرن .

٤ ـ استخدام الكوك المتجانس التحليل ، والذى يحوى أقل من ٠,٨٪ كبريت مع غربلته قبل الشحن مباشرة ، وفصل الأحجام التى تقل عن ٤٠ مم .

٥ ـ استخدام درجات حرارة مرتفعة لهواء النفخ (١٠٠٠° م) ، وتسمح الإمكانيات برفعها إلى (١١٠٠° م) . ومن المعروف أن زيادة ١٠٠° م حرارة بالهواء اللافح ، تقابلها ٢٪ زيادة فى إنتاجية الفرن ، وانخفاض فى استهلاك الكوك بنفس النسبة تقريبا .

٦ ـ استخدام الضغط العالى عند قمة الفرن .

٧ ـ استخدام السيور الناقلة فى عمليات النقل بين الأفران والتلبيد ومصنع الكوك .

٨ ـ تجهيز الأفران بالإمكانيات اللازمة لحقن هواء النفخ بفائض من الأوكسيجين ، بعد تغطية احتياجات محولات الصلب الأوكسيجينية ، وكذا تجهيزها بإمكانيات حقن المازوت والغازات الطبيعية .

valve	بلف
viscosity	لزوجة
volatile matter	مواد متطايرة
washer	غسال ـ منظف
washing tower	برج غسيل
waste gas	غازات عادمة
water separator	فاصل مياه
wet cleaning method	طرق تنقية مبللة
zince	خارصين
zone	منطقة
slag basicity	قاعدية الخبث
slag notch	جلبة الخبث
slag yard	حوش الخبث
slipping	انزلاق
smelting	صهر
solubility	قابلية الذوبان
sounding rods	الجات
specification	مواصفات
stack	المخروط العلوى
storage yard	حوش الخامات
tap hole	فتحة خروج الحديد
tar	قار
temperature	درجة حرارة
tensile strength	قوة الشد
top revolving device	جهاز توزيع الشحنة الدورانى
turbo-blower	توربينات نفخ الهواء
tuyere	ودنة
tuyere level	مستوى الودنات
useful volume	الحجم الفعال

pouring position	وضع الصب
preventive maintenance	الصيانة الوقائية
probability	احتمالات
purity	نقاء
radiation	إشعاع
rate of blowing	معدل النفخ
rate of driving	معدل التشغيل
rate of reaction	معدل التفاعل
reaction	تفاعل
reduction	اختزال
refractory bricks	طوب حرارى
residual	مخلفات
rotary furnaces	أفران دورانية
runners	مجارى
scaffold	رواسب
scale car	عربة ميزان
self fluxing sinter	لبيد متوازن
settler	مروقات مياه
silica	السيليكا
sinter	لبيد
methane	غاز الميثان
mill scale	قشور الدرفلة
mine	منجم
mixer	خلاط الحديد
moisture	رطوبة
nitrogen	نتروجين
nozzle	نافورة

English	Arabic
ore crusher	كسارة الخام
ore distributing car	عربات توزيع الخامات
outward butter	زاوية ميل المخروط السفلى
oxidation	أكسدة
oxygen enriched blast	هواء لافح غنى بالأوكسجين
pan system	طريقة القواديس
pelletising	تكوير
phosphor	الفوسفور
pig iron	حديد خام
pilluting	سقوط قلب الشحنة
pneumatic hammer	مطرقة هوائية
porosity	مسامية
impurities	شوائب
iron and steel making	صناعة الحديد والصلب
irregularities	اضطراب
ladle	بودقة
lance	لهب
large bell	الجرس الكبير
lay-out	تخطيط المصنع
leaking of tuyeres	رشح الودنات
lifting device	جهاز رفع
limestone	الحجر الجيرى
limonite	ليمونيت
lining	بطانة
low carbon steel	صلب منخفض الكربون
lowshaft furnace	الأفران القصيرة
magnetic concentration	التركيز المغناطيسى
magnesite bricks	طوب ماجنزيت

magnetite	ماجنتيت
manganese ore	خام المنجنيز
man-hole	فتحة تفتيش
manometer	مانومتر
gas offtake pipes	مواسير تجميع الغازات
granulation of slag	تحبيب الخبث
graphite	جرافيت
grate bars	ياظات حصيرة التلبيد
grinding	طحن
hanging of B. F.	تعليق شحنة الفرن العالى
hearth	بودقة الصهر
heating gases	غازات التسخين
hematite iron	حديد هياتيتى
hematite ore	خام هياتيتى
hot blast	الهواء اللافح
hot blast stoves	مسخنات الهواء
hot metal ladles	بوادق المعدن الساخن
hot spots	البقع الحمراء
humidity	رطوبة
hydraulic system	النظام الهيدروليكى
ignition	إشعال
indicator	مؤشر
indirect reduction	اختزال غير قياسى
injection	حقن
insolation	عزل
exothermic reaction	تفاعل طارد للحرارة
extractive metallurgy	علم استخراج المعادن
fayalite	الفياليت
ferric oxide	أكسيد حديديك

ferro–manganese	فيرو منجنيز
ferro-silicon	فيرو سيليكون
ferrous oxide	أكسيد حديدوز
fine bricks	كسر الطوب
fine ore	الخام الناعم
fixed carbon	الكربون الثبات
flux	مساعد صهر
friction	احتكاك
fuel	وقود
fumes	أدخنة
fusibility	قابلية الانصهار
fusion zone	منطقة الانصهار
gangue	شوائب
gas checker	غرفة احتراق الغاز بالمسخنات
gas cleaning plant	وحدة تنظيف الغاز
gas holder	خزان الغازات
descending charge	الشحنة الهابطة
desintegrator	توربينة تنقية ودفع الغاز
desulphurization	إزالة الكبريت
diffusion	انتشار
direct reduction	اختزال مباشر
discharge roller	دلافين التخريج
distillation	تقطير
distributer	موزع
distribution car	عربة توزيع
dolomite	الدولوميت
dome	قبة
down commons	ماسورة التجميع الهابطة ـ المنطوى
dry flue gas	غاز جاف
dry methods	طرق جافة
dust catcher	مجمع الأتربة

earth coal	فحم ترابى
eddy flow	تدفق
electrostatic preparation	ترسيب كهربائى
electrostatic purification	تنقية كهربائية
emergency stoppage	توقف اضطرارى
endothermic reaction	تفاعل ماص للحرارة
errection crane	ونش تركيب
exhaust gases	غازات العادم
blind-flanche	سدة فلنشة
blowing out	إيقاف الفرن
blowing period	فترة النفخ
butterfly valve	عينا اختناق
calcination	كلسنة
carbon	كربون
carbonate	الكربونات
carbon monoxide	أول أكسيد الكربون
catalyst	مساعد تفاعل
charcoal	فحم نباتى
charge	شحنة
chargingn basket	سلة الشحن
charging skip	عربة شحن الفرن
charging system	مجموعة شحن الفرن
coke consumption	معدل استهلاك الكوك
coking	تكويك
combustion chamber	غرفة احتراق
coontrolling room	غرفة مراقبة
cooling bed	فرشة تبريد
cooling tower	برج تبريد
cooling water system	دورة مياه تبريد

المصطلحات الفنية

عربى	إنجليزى
درجة الحرارة الحرجة لبودقة الصهر	critical hearth temperature
قوة السحق	curshing strength
حلزون ـ فاصل أتربة حلزونى	cyclone
درجة الصفر المطلق	absolute zero temperature
شحنة حامضية	acidic burden
إضافات	additions
قابلية ـ تآلف كيميائى	affinity
مساعد	agent
تجميع الخامات الناعمة	agglomeration
بخار قلويات	alkalies vapour
أكسيد الألومنيوم	alumina
خدمات مساعدة	auxiliary services
كربون متوافر	available carbon
توازن	balance
طريقة الحصيرة	band system
صلب قاعدة	basic steel
فرشة	bedding
زاوية ميل الجرس	bell angle
الأسطوانة	belly
الجرس الكبير	big bell
صومعة	bin
أتربة غازات الفرن العالى	B. F. dust
بلف تهوية	bleeder valve
شحنة عمياء (كوك فقط)	blende
تجنيس	blending

فهـــرس الكتاب

رقم الايداع ١٩٧٧/٢٣٠٧
الترقيم الدولى ٩ــ١٥ــ٧٠٦٥ ISBN


الأهرام
مطابع الأهرام التجارية
القاهرة